RELATÓRIO FINAL

de Acção de Promoção de Eficiência Energética em Caldeiras de Vapor e de Termofluído

Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética - Portugal Eficiência 2015 (PNAEE)

- Acção de Apoio a Empresas do Sector Industrial no âmbito da Medida Transversal do PNAEE "Produção de Calor e Frio – Sistemas de Combustão",

promovida e dinamizada por **ADENE – Agência de Energia**,

com a participação dos Parceiros

e com o apoio de

Maio de 2010

Acção de Promoção de Eficiência Energética em Geradores de Calor (Caldeiras de Vapor e Caldeiras de Termofluido)

ÍNDICE

Pág.

SUMÁRIO EXECUTIVO

O presente Relatório apresenta os resultados de uma acção inserida no âmbito do PNAEE, coordenada pela ADENE e que contou com a colaboração das empresas AMBITERMO, BABCOCK-WANSON, CSC Portuguesa e SPIRAX SARCO, que tem por objectivo principal a sensibilização de responsáveis técnicos e gestores de empresas da Indústria nacional quanto aos benefícios que podem advir de práticas de uma utilização racional de energia ou maior eficiência energética na área dos Geradores de Calor, concretamente em caldeiras de vapor e em caldeiras de termofluido, equipamentos esses que são responsáveis por consumos de energia importantes em vários subsectores industriais, mas que nem sempre operam nas condições mais eficientes.

A acção, que incluiu a realização de diagnósticos energéticos a uma amostra de geradores de calor (que embora reduzida se pretendeu que reflectisse tanto quanto possível a situação típica destes equipamentos na Indústria), constituída por 63 geradores de vapor e 18 geradores de termofluido e envolvendo um total de 45 empresas industriais / 46 unidades fabris de 13 sectores distintos da Indústria Transformadora e cobrindo praticamente todo o território nacional, permitiu:

- a caracterização técnica dos geradores de calor e dos respectivos equipamentos auxiliares encontrados, bem como das condições em que operam, com particular realce para o seu desempenho sob o ponto de vista energético;
- a identificação de um potencial relevante de economias de energia e de custos, associado a medidas e boas práticas que podem ser implementadas nestes equipamentos com vista a uma melhoria da sua eficiência energética;
- a demonstração inequívoca de que a implementação dos tipos de medidas recomendados pode ser conseguida, de um modo geral, com investimentos não muito significativos e com períodos de retorno dos mesmos muito curtos, desfazendo alguns "mitos" que existem sobre estas matérias e provando claramente que investimentos em eficiência energética podem conduzir a reduções de custos importantes nas empresas e consequentemente concorrer para ganhos de competitividade não desprezáveis nas mesmas, para além dos benefícios ambientais que também são relevantes; e,
- com os resultados obtidos, poder servir de base a uma divulgação de boas práticas e tecnologias eficientes a todo o universo industrial.

Caracterização da amostra de geradores

A amostra de 81 geradores seleccionada tem uma factura energética total associada de 34,8 milhões de Euros/ano, correspondente a um consumo total de cerca de 4 034 TJ/ano de energia final ou 96,7 ktep/ano de energia primária.

A recolha de dados para caracterização destes equipamentos incidiu sobre:

- os geradores propriamente ditos, no que respeita a várias características técnicas (tipo de combustíveis utilizados, potências nominais, superfícies de aquecimento, capacidades de produção, pressões e temperaturas de fluidos envolvidas, tipos de câmaras de combustão, isolamentos, etc.);
- os equipamentos auxiliares, tais como sistemas de queima, bombas, ventiladores, permutadores de calor de recuperação de energia dos gases de combustão, etc.;
- a instrumentação e os equipamentos de controlo;
- as condições de operação e manutenção dos geradores, incluindo o seu desempenho energético e aspectos com repercussões nos consumos de energia destes equipamentos (p. ex., armazenagem e distribuição de combustíveis líquidos e tratamento de água no caso dos geradores de vapor).

As figuras seguintes sintetizam algumas destas características relativamente à amostra de geradores de calor analisada. Uma particularidade que é comum à grande maioria dos geradores encontrados tem a haver com os baixos rendimentos encontrados, resultantes essencialmente de uma combustão deficiente (excessos de ar de combustão e temperaturas dos gases de combustão com valores elevados) e/ou dos geradores operarem a cargas reduzidas.

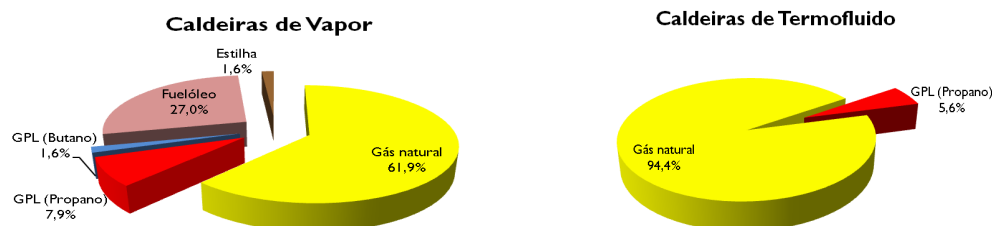



Fig. S1 – Tipos de combustíveis utilizados pelas caldeiras da amostra

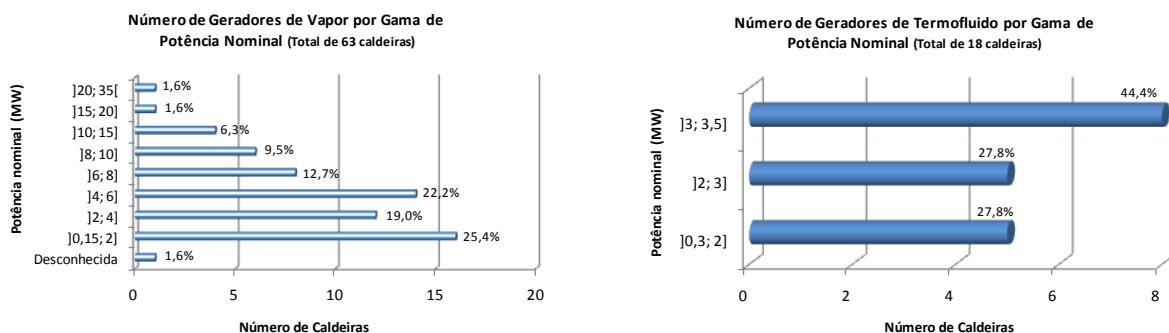
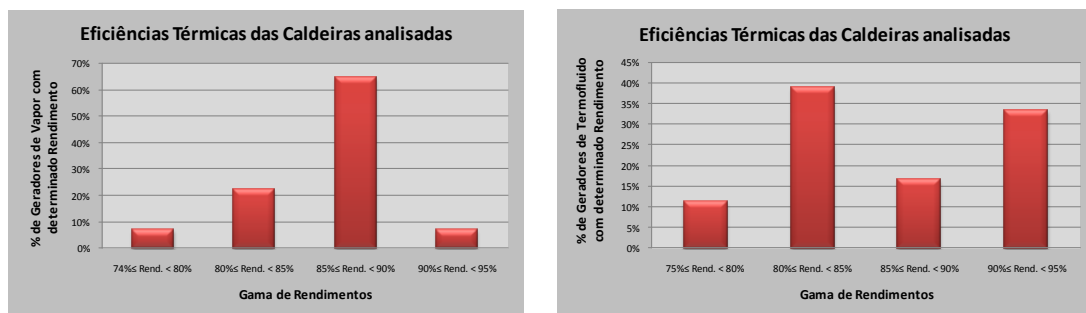



Fig. S2 – Potências nominais das caldeiras da amostra

Fig. S3 – Rendimentos determinados nas caldeiras da amostra

Potencial de economia de energia identificado / Medidas recomendadas

Os **Quadros S-1 e S-2** sintetizam as medidas de economia de energia e de custos, com viabilidade técnico-económica (valor máximo de período de retorno do investimento admissível de 5 anos), identificadas na amostra de caldeiras analisada. Essas medidas são referenciadas por tipologia / aspectos técnicos que envolvem (1º Quadro) e por montantes de investimentos que lhes estão associadas (2º Quadro).

Quadro S-1 – Potencial de economia de energia e de custos na amostra de geradores de calor analisados

Tipo de Caldeiras	Tipologia de Medidas	Economia de Energia Final		Economia de Energia Primária		Economia de Custos		Investimento		PRI (média)
		GJ/ano	%	tep/ano	%	EUR/ano	%	EUR	%	anos
Geradores de Vapor	Optimização de processos – Regulação da combustão / Limpeza de sup. de transf. calor	26 394	24,8	632	24,8	226 856	22,9	67 590	5,2	0,30
	Optimização de processos – Melhoramento do tratamento de água (inclui optimização de purgas)	1 300	1,2	31	1,2	21 611	2,2	28 200	2,2	1,30
	Optimização de processos – Melhoramento do controlo e/ou manutenção dos equipam.	12 784	12,0	306	12,0	116 335	11,7	276 750	21,3	2,38
	Instalação de sistema de controlo de O_2	17 829	16,8	426	16,7	167 352	16,9	71 000	5,5	0,42
	Instalação ou melhoramento de isolamentos térmicos (em tanques de fuelóleo, tanques de condensados e de água de alimentação, tubagens, etc.)	2 624	2,5	63	2,5	19 449	2,0	28 000	2,1	1,44
	Recuperação de calor das purgas	2 411	2,3	58	2,3	23 081	2,3	46 500	3,6	2,01
	Recuperação de calor dos gases de combustão / Instalação de economizadores e/ou pré-aquecedores de ar de combustão	42 626	40,1	1 024	40,2	413 782	41,7	766 000	58,9	1,85
	Substituição de caldeiras	325	0,3	8	0,3	3 391	0,3	15 000	1,2	4,42
	Outras medidas	75	0,1	2	0,1	904	0,1	1 000	0,1	1,11
	SUB-TOTAL	**106 367**	**100**	**2 549**	**100**	**992 761**	**100**	**1 300 040**	**100**	**1,31**
Geradores de Termo-fluido	Optimização de processos – Regulação da combustão / Limpeza de sup. de transf. calor	10 429	100	253	100	97 833	100	8 301	100	0,08
	SUB-TOTAL	**10 429**	**100**	**253**	**100**	**97 833**	**100**	**8 301**	**100**	**0,08**
TOTAL		**116 796**		**2 802**		**1 090 594**		**1 308 340**		**1,20**

Quadro S-2 – Potencial de economias por tipo de investimento associado às medidas recomendadas para a amostra total de geradores de calor

Tipo de medidas	Economia de Energia Final		Economia de Energia Primária		Economia de Custos		Investimento		PRI (média)
	GJ/ano	%	tep/ano	%	EUR/ano	%	EUR	%	anos
Boa Gestão Energética (BGE) (Inv. ≤ 5 000 €)	32 931	28,2	791	28,2	285 231	26,2	98 840	7,6	0,35
Investimento Médio (IM) (5000 € < Inv. ≤ 75 000 €)	64 677	55,4	1 550	55,3	612 883	56,2	819 500	62,6	1,34
Investimento Alto (IA) (Inv. > 75 000 €)	19 188	16,4	461	16,5	192 480	17,6	390 000	29,8	2,03
TOTAL	**116 796**	**100,0**	**2 802**	**100,0**	**1 090 594**	**100,0**	**1 308 340**	**100,0**	**1,20**

A implementação das medidas identificadas conduzirá a uma economia total (mínima) de cerca de 116,8 TJ/ano ou 2,8 ktep/ano, correspondente a 2,9% do consumo de energia anual da totalidade dos geradores de calor da amostra. Esta economia de energia traduzir-se-á numa redução de custos anuais de aproximadamente 1,1 milhões de Euros, o que equivale a 3,13% do valor da factura energética total associada a estes equipamentos. A estas poupanças está associada uma redução total de emissões de CO_2 de cerca de 7 919 toneladas/ano, o que equivale à plantação anual de quase 396 000 árvores necessárias para absorver essas emissões e transformá-las em oxigénio.

E tudo isto com um investimento total que tem um valor médio de "payback" de 1,2 anos, e com a particularidade de quase 60% das economias serem possíveis com medidas cujos investimentos associados se recuperam em menos de 1 ano. As chamadas medidas de Boa Gestão Energética (sem necessidade de investimento, ou com investimentos mínimos que não ultrapassam os 5 000 Euros) são responsáveis por mais de ¼ das economias, ao passo que as medidas que envolvem Investimentos Médios (com montantes entre os 5 000 e os 75 000 Euros) e as medidas associadas a Investimentos Altos (acima de 75 000 Euros) se traduzem, respectivamente, em cerca de 56% e 18% das economias de custos identificadas.

De entre as principais medidas de economia de energia destacam-se as relacionadas com a regulação da combustão / limpeza das superfícies de transferência de calor dos geradores de calor e com a recuperação de calor dos respectivos gases de combustão (principalmente envolvendo a instalação de economizadores em caldeiras de vapor), que são responsáveis por mais de 80% das economias de energia e mais de 90% das economias de custos identificadas.

Com os resultados desta Acção fica claro que uma das apostas das empresas da Indústria nacional para alcançarem os tão desejados ganhos de competitividade tem que ser na EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS DA ACÇÃO

O Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética – Portugal Eficiência 2015 (PNAEE), aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros nº 80/2008 de 20 de Maio, engloba um conjunto de programas e medidas de melhoria de eficiência energética consideradas fundamentais para que Portugal possa alcançar e suplantar os objectivos de poupança de energia fixados no âmbito da Directiva nº 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril. Das várias medidas contempladas nesse Plano, orientado para a gestão da procura energética, estão previstas diversas acções de apoio a empresas do sector industrial para que estas mais facilmente alcancem ganhos de eficiência energética e reduções das suas facturas energéticas, nomeadamente pela dinamização de medidas ditas transversais, com incidência específica em determinadas áreas como sejam a Produção de Calor e Frio.

Nesta vertente de actuação, os sistemas de combustão, sobretudo relacionados com **Geradores de Calor**, assumem particular relevância, pelo que a acção objecto do presente Relatório Final, de ***Promoção de Eficiência Energética em Geradores de Calor***, se enquadra na Medida Transversal do PNAEE designada por “Produção de Calor e Frio – Sistemas de Combustão”. Não obstante os Geradores de Calor serem responsáveis por consumos de energia significativos em vários subsectores industriais, no que concerne à sua *eficiência energética / gestão de energia*, tais aspectos são frequentemente negligenciados e daí a sua exploração na maioria das instalações não ser a mais eficiente. Isto origina rendimentos térmicos inferiores ao que seria razoável e que se traduzem em maiores consumos de energia e emissões de poluentes atmosféricos.

Pretende-se, pois, que uma acção como esta, desenvolvida pela ADENE e com o apoio de 4 Parceiros adiante discriminados, possa contribuir para o tão desejado aumento de eficiência energética, não só nas empresas que disponibilizaram as suas instalações para a prossecução da acção, mas também de um modo geral em todas as unidades fabris da Indústria onde existam estes equipamentos, através de uma atitude futura mais pró-activa da parte dos seus responsáveis técnicos e gestores, visando uma adequação efectiva dos seus geradores de calor e dos processos a eles inerentes a novas tecnologias e estratégias actualmente disponíveis. Estas alterações de atitude deverão ser consequência de uma adequada divulgação de boas práticas conducentes a uma melhor gestão da utilização da energia e de uma avaliação da ordem de grandeza do potencial de economia de energia e de custos associado a essas “novas” práticas e/ou implementação de tecnologias mais eficientes, permitidas pelos resultados saídos da acção.

Portanto, a acção desenvolvida pretende promover a adopção por parte de empresas industriais de medidas concretas que conduzam a reduções dos consumos de energia dos seus geradores de calor, em particular em **Caldeiras de Vapor e** em **Caldeiras de Termofluido**, e dos respectivos custos de operação, bem como à diminuição de emissões de gases nocivos para o ambiente daí resultantes, e tudo isto sem afectar a qualidade e fiabilidade desses sistemas energéticos.

A sua prossecução passou pela realização de um conjunto de **diagnósticos energéticos** em diversas empresas de distintos subsectores industriais, com vista à caracterização energética dos geradores de calor que se encontram em funcionamento nas mesmas (incluindo a avaliação dos seus desempenhos/ rendimentos térmicos) e a subsequente identificação do potencial de economia de energia associado a esses equipamentos, derivado da optimização dos respectivos sistemas de queima e de outras eventuais medidas (substituição de alguns desses equipamentos e/ou dos seus acessórios por outros mais eficientes, substituição de combustíveis, etc.). Estas intervenções e os seus resultados, que originaram relatórios individuais por Empresa Industrial participante, tentando desmistificar alegadas "dificuldades" de viabilidade técnico-económica tantas vezes invocadas pelas empresas para a não consideração e implementação de medidas nesta área, servem de base a uma divulgação de boas práticas e tecnologias eficientes a todo o universo industrial, comprovadamente viáveis e benéficas em termos de ganhos de competitividade para as empresas que as adoptarem, consubstanciada pelo presente Relatório (que sintetiza toda a informação dos Relatórios dos Diagnósticos Energéticos realizados), pela publicação posterior de uma Brochura de Boas Práticas e Medidas Eficientes em Geradores de Calor e pela realização de um Seminário sobre esta temática.

1.2. ENTIDADES PARTICIPANTES E DESENVOLVIMENTO DA ACÇÃO

Entendendo ser fundamental o envolvimento na acção de entidades detentoras de "know-how" nesta área dos Geradores de Calor, profundas conhecedoras da realidade atrás referida e com uma ligação estreita ao universo industrial, como é o caso dos principais fabricantes e/ou fornecedores nacionais de caldeiras e de outras com actividades relacionadas com esta área, a ADENE, na qualidade de entidade promotora e dinamizadora da acção, convidou as seguintes empresas a participar na acção, que viriam a constituir os Parceiros já mencionados no item 1.1.:

- **AMBITERMO** – Engenharia e Equipamentos Térmicos, S.A.;
- **BABCOCK-WANSON** Caldeiras, Lda.;
- **CSC Portuguesa** – Caldeiras Especiais para Termofluido, Lda.; e,
- **SPIRAX SARCO** – Equipamentos Industriais, Lda..

Os contactos destas empresas são apresentados no Anexo 1 do presente Relatório. É de salientar que, além destas 4 empresas, também foram contactadas outras, designadamente as seguintes:

- LUÍS GONÇALVES & IRMÃO, Lda.;
- FERREIRA DE CARVALHO, BRANDÃO & CA., Lda.;
- FLUCAL – Fluidos e Calor, Lda; e,
- TERMETAL – Indústrias Térmicas e Construções Metálicas, Lda.

Destas, apenas a primeira empresa (Luís Gonçalves & Irmão, Lda.) viria a manifestar interesse em participar também na acção e chegou inclusive a assinar o Protocolo de Parceria com a ADENE (a exemplo do verificado com os 4 Parceiros efectivos já referidos), mas passado pouco tempo, em virtude de ter entrado num processo de insolvência e de ter suspendido a sua actividade, retirou-se da acção.

Como já foi mencionado, a metodologia subjacente ao desenvolvimento da acção assentou na realização de diagnósticos energéticos a um conjunto alargado de instalações/empresas de variados subsectores industriais, envolvendo uma amostra representativa de caldeiras de vapor e caldeiras de termofluido, com medições e elaboração de relatórios individuais para as Empresas Industriais envolvidas, evidenciando a caracterização da situação encontrada e um conjunto de recomendações ou medidas com viabilidade técnico-económica possíveis de implementar, conducentes a economias de energia. E este tipo de informação para as Empresas Industriais deverá constituir o ponto de partida (sensibilização) para a concretização de uma efectiva Gestão de Energia / Utilização Racional de Energia nas mesmas nesta área dos Geradores de Calor, e todos os resultados obtidos servirão igualmente para uma divulgação pública posterior, com interesse para a globalidade do sector industrial. Essa divulgação deverá assentar em boas práticas e/ou tecnologias mais eficientes nesta área de modo a incentivar uma atitude mais pró-activa da parte dos responsáveis das Empresas Industriais para a adopção das mesmas, conducente ao desejado aumento de eficiência energética.

Os Protocolos celebrados entre a ADENE e os Parceiros seleccionados estabeleceram o tipo de colaboração a ser prestada por estes no âmbito da acção, o tipo de tratamento a ser dado pela ADENE à informação resultante das intervenções dos Parceiros e as formas de cooperação e apoio mútuo entre estas entidades para uma maior eficácia nas suas tarefas, e consequentemente a regulamentação dos deveres e responsabilidades de cada uma delas. As actividades desenvolvidas por cada Parceiro consistiram basicamente em:

- Efectuar a selecção, de entre os seus Clientes Industriais, de um conjunto de Empresas/Instalações com caldeiras de vapor e/ou de termofluido que fariam parte da amostra que seria alvo dos diagnósticos energéticos a realizar no âmbito da acção. Essa amostra, tentando reflectir tanto quanto possível a situação típica do sector industrial em geral, cobriria um total de 20 caldeiras e com um máximo de 2 geradores de calor por cada empresa industrial seleccionada.
- Realizar os diagnósticos energéticos na amostra seleccionada de empresas/instalações, segundo metodologia definida pela ADENE e com a finalidade já referida de caracterização dos equipamentos

objecto de análise e identificação das respectivas oportunidades de economia de energia com viabilidade económica.

- Elaborar, por Empresa Industrial objecto do trabalho de campo atrás mencionado, o correspondente Relatório de Diagnóstico Energético sobre a(s) caldeira(s) analisada(s), de acordo com o modelo de relatório delineado pela ADENE e que se apresenta no Anexo 2 do presente documento. Esses Relatórios seriam posteriormente enviados para as Empresas Industriais em questão, para dar conhecimento do potencial de economias de energia e de custos identificado e a poderem ser implementadas por aquelas as boas práticas e medidas recomendadas, conducentes a melhorias de eficiência energética nos geradores de calor analisados, caso os seus responsáveis assim o entendessem. Uma cópia de cada um desses Relatórios seria também enviada para a ADENE, para tratamento da informação e elaboração por esta entidade de um Relatório Final de Síntese (que é o presente documento) e que agrega os resultados de todos os diagnósticos energéticos efectuados no âmbito da acção pela totalidade dos Parceiros.
- Dar o apoio, na medida do possível, às actividades de divulgação dos resultados das intervenções efectuadas e de disseminação de boas práticas/medidas conducentes a economias de energia em Geradores de Calor, que serão da responsabilidade da ADENE.

De salientar o acordado entre a ADENE e os Parceiros, no que respeita à não divulgação pública de informação respeitante às Empresas Industriais, tida como confidencial, ou ainda que podendo ser divulgados os resultados dos diagnósticos efectuados, serem salvaguardados/omitidos os nomes das Empresas Industriais em questão na sua relação com os resultados obtidos, de modo a não ferir susceptibilidades e por uma questão de imagem dessas Empresas.

Em síntese, o **desenvolvimento da acção**, que teve o seu início no final do 1º semestre de 2008, compreendeu as seguintes actividades:

(i) Identificação pela ADENE de potenciais Parceiros para participação na acção e estabelecimento de contactos com estas Entidades / Realização de reuniões individuais com as que responderam afirmativamente - Luís Gonçalves & Irmão, CSC Portuguesa, SPIRAX SARCO, AMBITERMO e BABCOCK-WANSON, respectivamente -, para apresentação da acção e avaliação das possibilidades de parceria entre cada uma delas e a ADENE.

(ii) Preparação pela ADENE do tipo de Relatório a utilizar pelos Parceiros na fase de execução dos diagnósticos energéticos em Empresas Industriais, discussão do conteúdo desse documento com as cinco Empresas referidas em (i) e sua aprovação por todos os intervenientes.

(iii) Confirmação dos Parceiros participantes na acção / Estabelecimento de Protocolos de Parceria e celebração dos mesmos entre as partes envolvidas. (NOTA: Esta fase concluiu-se em Fevereiro de

2009, tendo também se verificado no final desse mês, pelos motivos já referidos, a retirada da acção da empresa Luís Gonçalves & Irmão).

(iv) Definição da amostra de Empresas Industriais e das respectivas caldeiras que seriam alvo dos diagnósticos energéticos, bem como do planeamento da execução dos mesmos (incluindo envio de cartas pela ADENE para essas Empresas a explicar os objectivos da acção e a formalizar a adesão das mesmas). (NOTA: A Spirax Sarco acabou por indicar 21 caldeiras em vez das 20 devidas, e daí que a amostra final correspondente aos 4 Parceiros tenha sido de 81 caldeiras em vez das 80 previstas).

(v) Realização pelos Parceiros dos diagnósticos energéticos – Trabalho de campo + Relatórios [Entre Março e Outubro de 2009].

(vi) Elaboração pela ADENE do Relatório Final de Síntese, para posterior divulgação pública.

1.2.1. Amostra de Empresas Industriais e de Caldeiras seleccionada para Diagnósticos

O **Quadro 1** sintetiza a amostra de empresas industriais e de geradores de calor seleccionada pelos Parceiros, com a aprovação da ADENE, para efeitos da realização dos diagnósticos energéticos. Esta amostra compreendeu um total de 45 empresas, correspondendo a 46 unidades fabris distintas, e 81 geradores de calor, dos quais 63 (78%) eram caldeiras de vapor e 18 (22%) caldeiras de termofluido.

Com esta amostra pretendeu-se, tanto quanto possível, uma boa representatividade da situação média na Indústria Transformadora nacional, quer em termos de sectores contemplados e localização das unidades fabris no País, quer em termos de caldeiras seleccionadas para análise, no que concerne a potência térmica e/ou superfície de aquecimento, categoria de gerador – de vapor (aquotubular ou pirotubular) ou de termofluido, idade do equipamento, tipo de combustível utilizado (combustível sólido, fuelóleo, GPL ou gás natural), tipo de regulação do queimador ("tudo ou nada", "dois estágios" ou "modulante"), pressão de funcionamento (baixa, média ou alta) e tipo de operação (manual e/ou automática). Os **Quadros 2 a 4** e as **Figuras 2 a 4** resumem alguns destes aspectos no que concerne à amostra obtida.

Como já foi referido, foi definida pela ADENE uma metodologia para o trabalho de campo relacionado com os diagnósticos energéticos, tendo sido delineado um modelo de relatório, que obrigava à recolha de dados sobre um variado conjunto de itens, respeitantes a características técnicas dos geradores de calor e do equipamento auxiliar (equipamento de queima, armazenagem e alimentação de combustível, bombas, pré-aquecedores de ar de combustão e economizadores, etc.), informação específica no caso de geradores de vapor (tratamento de água, condições de água de alimentação, de água de "make-up", de condensados e das purgas, etc.), instrumentação e controlos, manutenção e operação, fichas de

ensaio para análise da combustão (com determinação do excesso de ar de combustão e do rendimento térmico por gerador) e avaliação do potencial de economia de energia existente, tendo em vista a recomendação de medidas a implementar.

Os resultados obtidos, transpostos para relatório e que permitiram uma caracterização dos equipamentos analisados e das suas condições de funcionamento (em particular no que concerne à utilização de energia) e a identificação de medidas de economia de energia, são apresentados mais adiante, no **capítulo 2**.

Tipos de caldeiras integrantes da amostra
(de um total de 81 caldeiras)

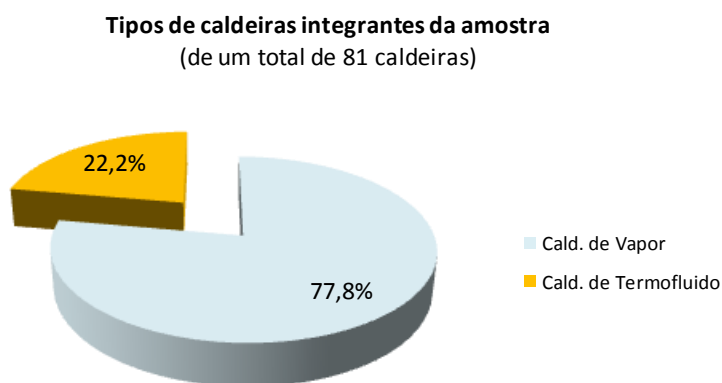



Fig. 1 – Pesos relativos de caldeiras de vapor e de caldeiras de termofluido analisadas na amostra seleccionada

Quadro 1 – Amostra de empresas industriais e geradores de calor seleccionada para a Acção

Localização da Empresa (Distrito)	Sector / Indústria	Nº e Tipo de Caldeiras
Braga	Têxtil	1 V + 1 T
Região Autónoma dos Açores (Ilha Terceira)	Alimentar / Abate de gado (produção de carne)	1 V
Setúbal	Papel / Embalagens de papel e cartão canelados	1 V + 1 T
Castelo Branco	Papel / Prod. e transform. de papel *tissue*	1 V
Santarém	Alimentar / Congelação de frutos e prod. hort.	1 V + 1 T
Lisboa	Farmacêutica	2 V
Leiria	Alimentar / Conserv. de frutos e de prod. hort.	2 V
Aveiro	Fabric. embalagens / Prod. higiene	2 V
Lisboa	Alimentar / Produtos amiláceos	2 V
Braga	Têxtil	2 T
Porto	Têxtil	1 T
Aveiro	Química / Fabric. de resinosos e seus derivados	1 V
Santarém	Química / Fabricação de biodiesel	2 V
Coimbra	Alimentar / Fabric. de produtos à base de carne	1 V
Porto	Plásticos / Componentes para Ind. Automóvel	2 V
Santarém	Alimentar / Fabric. de produtos à base de carne	2 V
Lisboa	Alimentar / Concentrados de tomate	2 V
Viseu	Farmacêutica	2 V
Porto	Alimentar / Lacticínios	2 V
Coimbra	Alimentar / Lacticínios	2 V
Braga	Têxtil	2 V
Aveiro	Têxtil	2 V
Braga	Têxtil	1 V
Aveiro	Papel / Embalagens de cartão canelado	2 V
Santarém	Alimentar / Congelação de frutos e prod. hort.	1 V
Porto	Papel	2 V
Aveiro	Papel	2 V
Setúbal	Alimentar / Lacticínios	2 V
Castelo Branco	Têxtil	1 V
Aveiro	Calçado / Fabr. Componentes para Calçado	1 T
Leiria	Alimentar / Rações para Animais	2 V
Lisboa	Química / Prod. polímeros	1 V + 1 T
Santarém	Alimentar / Abate de gado (produção de carne)	2 V
Coimbra	Fabr. máq. e equip., n.e. / Torneiras e válvulas	2 V
Aveiro	Cerâmica / Louça sanitária	2 T
Aveiro	Borracha	1 T
Lisboa	Alimentar / Gorduras animais	2 V
Setúbal	Cimento	2 T
Coimbra	Alimentar / (Batatas fritas, snacks, aperitivos)	1 V + 1 T
Aveiro	Calçado / Fabr. Componentes para Calçado	1 V
Santarém	Alimentar / Conserv. de frutos e de prod. hort.	2 V
Lisboa	Tabaco	2 V
Castelo Branco	Têxtil	1 V + 1 T
Braga	Têxtil	1 V + 1 T
Braga	Mat. Têxteis / Componentes para Ind. Automóvel	2 T
Porto	Bebidas / Cerveja	2 V

Legenda:

V Caldeira de vapor

T Caldeira de termofluído

- Distribuição Geográfica da Amostra de Empresas/Caldeiras seleccionada

No **Quadro 2** é apresentada a distribuição geográfica das empresas / unidades fabris e das respectivas caldeiras seleccionadas para efeitos dos diagnósticos energéticos a realizar.

Quadro 2 – Distribuição por distritos e regiões autónomas da amostra seleccionada

Distrito	Empresas / Unidades Fabris		Caldeiras					
			Caldeiras de Vapor		Caldeiras de Termofluido		Total de Caldeiras	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Aveiro	9	19,6	10	15,9	4	22,2	14	17,3
Braga	6	13,0	5	7,9	6	33,3	11	13,6
Castelo Branco	3	6,5	3	4,8	1	5,6	4	4,9
Coimbra	4	8,7	6	9,5	1	5,6	7	8,6
Leiria	2	4,3	4	6,3	-	0,0	4	4,9
Lisboa	6	13,0	11	17,5	1	5,6	12	14,8
Porto	5	10,9	8	12,7	1	5,6	9	11,1
Santarém	6	13,0	10	15,9	1	5,6	11	13,6
Setúbal	3	6,5	3	4,8	3	16,7	6	7,4
Viseu	1	2,2	2	3,2	-	0,0	2	2,5
Reg. Aut. Açores	1	2,2	1	1,6	-	0,0	1	1,2
TOTAL	**46**	**100,0**	**63**	**100,0**	**18**	**100,0**	**81**	**100,0**

Verifica-se que os distritos mais representativos em termos do número de caldeiras analisadas foram Aveiro, Lisboa, Braga, Santarém e Porto, englobando por si só 70,4% da amostra seleccionada, e que também o conjunto desses 5 distritos tem um peso relativo da mesma ordem (69,5%) em termos do número de empresas/unidades fabris envolvidas na acção. As percentagens obtidas são perfeitamente justificáveis pelo facto de nesses distritos, exceptuando o de Santarém, se concentrar a maior parte das empresas da Indústria Transformadora nacional.

Também cerca de 70% das caldeiras de vapor da amostra se situa nesses 5 distritos, ao passo que para os geradores de termofluido da amostra foram os distritos de Aveiro, Braga e Setúbal que mais contribuíram, representando 72,2% do total desse tipo de caldeiras analisado.

A **Figura 2** ilustra a representatividade de cada distrito ou região autónoma, em termos percentuais, na localização das empresas/unidades fabris e das caldeiras analisadas da amostra seleccionada.

Empresas / Unidades Fabris

19,6% · 13,0% · 6,5% · 8,7% · 4,3% · 13,0% · 10,9% · 13,0% · 6,5% · 2,2% · 2,2%

Aveiro · Braga · Castelo Branco · Coimbra · Leiria · Lisboa · Porto · Santarém · Setúbal · Viseu · Reg. Aut. Açores

(a)

Caldeiras de Vapor

15,9% · 7,9% · 4,8% · 9,5% · 6,3% · 17,5% · 12,7% · 15,9% · 4,8% · 3,2% · 1,6%

Aveiro · Braga · Castelo Branco · Coimbra · Leiria · Lisboa · Porto · Santarém · Setúbal · Viseu · Reg. Aut. Açores

(b)

Caldeiras de Termofluido

22,2% · 33,3% · 5,6% · 5,6% · 5,6% · 5,6% · 5,6% · 16,7%

Aveiro · Braga · Castelo Branco · Coimbra · Leiria · Lisboa · Porto · Santarém · Setúbal · Viseu · Reg. Aut. Açores

(c)

Fig. 2 – Pesos relativos dos números de empresas e de caldeiras analisadas na amostra, quanto à sua localização.

- Representatividade dos vários sectores industriais na amostra seleccionada

O **Quadro 3** apresenta uma síntese dos sectores industriais envolvidos e do peso relativo de cada um deles em termos do número de caldeiras analisadas na amostra seleccionada.

Verifica-se que há 3 sectores que se destacam, respectivamente, os das Indústrias Alimentares, Fabricação de Têxteis e Indústria de Papel, com cerca de 63% do total de caldeiras da amostra, com particular realce para o primeiro sector, responsável por si só por 1/3 das caldeiras analisadas. Seguem-se-lhes por ordem de importância os sectores de Indústrias Químicas, Indústria das Bebidas, Indústria Farmacêutica, Fabricação de Produtos Minerais não Metálicos e Indústria Automóvel, com um peso total de aproximadamente 21%, e depois mais 5 outros sectores com pouca expressão cada um, em termos de caldeiras analisadas.

Quadro 3 – Distribuição dos tipos de caldeiras da amostra por sector industrial

Sector Industrial		Caldeiras					
		Caldeiras de Vapor		Caldeiras de Termofluido		Total de Caldeiras	
	CAE	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Alimentares	10	25	39,7	2	11,1	27	33,3
Bebidas	11	4	6,3	-	0,0	4	4,9
Tabaco	12	2	3,2	-	0,0	2	2,5
Têxteis	13	9	14,3	6	33,3	15	18,5
Calçado	15	1	1,6	1	5,6	2	2,5
Papel	17	8	12,7	1	5,6	9	11,1
Químicas	20	4	6,3	1	5,6	5	6,2
Farmacêutica	21	4	6,3	-	0,0	4	4,9
Borracha	22	-	0,0	1	5,6	1	1,2
Minerais não Metálicos*	23	-	0,0	4	22,2	4	4,9
Produtos Metálicos	25	2	3,2	-	0,0	2	2,5
Máquinas e Equipamentos, n.e.	28	2	3,2	-	0,0	2	2,5
Automóvel **	29	2	3,2	2	11,1	4	4,9
TOTAL		**63**	**100,0**	**18**	**100,0**	**81**	**100,0**

NOTAS: * Inclui apenas empresas dos subsectores de Cerâmicas e Cimento; ** Inclui apenas empresas do subsector de Componentes e Acessórios para Veículos Automóveis.

De qualquer modo, poder-se-á dizer que esta amostra reflecte de uma forma aproximada a realidade, em termos médios, dos tipos de caldeiras instalados na Indústria Transformadora Portuguesa e dos sectores com maior expressão em consumos energéticos associados a esses equipamentos, talvez com o senão de poder indiciar um peso relativo dos geradores de termofluido superior ao que efectivamente se verifica, que não deverá ultrapassar os 15% do total de caldeiras de vapor e de termofluido instaladas na nossa Indústria. Poderemos igualmente apontar a falta na amostra de um ou outro sector também importante nesta área das caldeiras de vapor e de termofluido, como por exemplo o das Indústrias da Madeira e da Cortiça, e obviamente dentro de cada sector considerado haverá também determinados subsectores que não estão representados e que ainda assim são relevantes. Mas, para os objectivos da acção, a amostra considerada pode considerar-se satisfatória.

Voltando à referida amostra, também ilustrada na **Figura 3**, e em particular aos geradores de vapor, constatamos que os pesos relativos de maior expressão (em número de equipamentos analisados comparativamente ao número total de caldeiras desse tipo na amostra) continuam a verificar-se nos mesmos sectores com maior número de caldeiras, sobressaindo de novo os sectores das Indústrias Alimentares, de Fabricação de Têxteis e da Indústria de Papel, com 66,7% das 63 caldeiras analisadas, e com particular destaque para o primeiro desses sectores que apresenta um peso de quase 40%. Têm também alguma expressão neste tipo de caldeiras os sectores de Indústria das Bebidas, Indústrias Químicas e Indústria Farmacêutica, totalizando no seu conjunto um peso de cerca de 19% das caldeiras alvo de diagnóstico. E, depois, há mais 5 sectores, mas cada um deles com pouco peso.

Caldeiras de Termofluido
(18 no total)

Minerais não Metálicos 22,2%
Automóvel 11,1%
Alimentares 11,1%
Borracha 5,6%
Químicas 5,6%
Têxteis 33,3%
Papel 5,6%
Calçado 5,6%

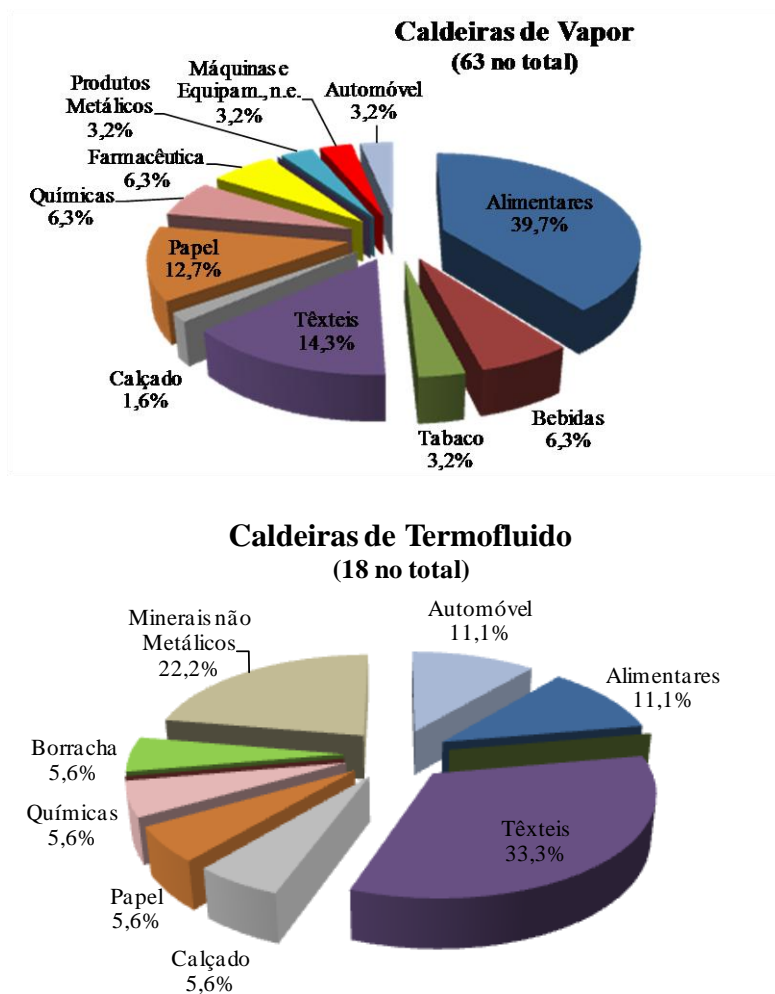



Fig. 3 – Peso relativo de cada sector industrial em termos de número de caldeiras analisadas na amostra seleccionada

No que se refere às caldeiras de termofluido, o sector Têxtil é aquele em que se analisou um maior número de caldeiras deste tipo, representando 1/3 da amostra considerada, e depois assume também algum significado o sector dos Produtos Minerais Não Metálicos, com 22,2% do total de caldeiras analisadas. Também os sectores das Indústrias Alimentares e Indústria Automóvel em conjunto têm alguma expressão, com um peso total de 22,2% na análise destas caldeiras, e depois há apenas mais 4 sectores com pouco significado.

- Fontes energéticas utilizadas nas caldeiras da amostra seleccionada

O **Quadro 4** resume as fontes energéticas que se utilizam nas caldeiras da amostra considerada. Apenas são utilizados combustíveis, que variam entre o gás natural e o fuelóleo (utilizados em 90% das

caldeiras analisadas), os gases de petróleo liquefeitos (GPL) e algum combustível sólido (apenas encontrado numa caldeira, sob a forma de estilha).

Quadro 4 – Tipos de combustível utilizados nas caldeiras da amostra

Combustível		Caldeiras					
		Caldeiras de Vapor		Caldeiras de Termofluido		Total de Caldeiras	
		Nº	%	Nº	%	Nº	%
Gasoso	Gás natural	39*	61,9	17**	94,4	56	69,1
	GPL (Propano)	5	7,9	1	5,6	6	7,4
	GPL (Butano)	1	1,6	-	0,0	1	1,2
	Sub-Total	**45**	**71,4**	**18**	**100,0**	**63**	**77,7**
Líquido	Fuelóleo	17	27,0	-	0,0	17	21,0
	Sub-Total	**17**	**27,0**	**-**	**0,0**	**17**	**21,0**
Sólido	Estilha	1	1,6	-	0,0	1	1,2
	Sub-Total	**1**	**1,6**	**-**	**0,0**	**1**	**1,2**
TOTAL		**63**	**100,0**	**18**	**100,0**	**81**	**100,0**

NOTAS: * 3 destas caldeiras também podem funcionar com gasóleo, em alternativa ao gás natural, o que normalmente só acontece em situações de emergência, que não era o caso de quando da realização dos diagnósticos; ** Também uma destas caldeiras pode funcionar com gasóleo em vez de gás natural. Aquando dos diagnósticos, estas 4 caldeiras consumiam apenas gás natural.

Verifica-se que cerca de 78% das caldeiras integrantes da amostra utiliza combustíveis gasosos, com particular predominância para o gás natural (69,1%).

O GPL apenas é utilizado em 7 caldeiras, pertencentes a 5 unidades industriais distintas que ainda não têm acesso à rede de gasodutos de abastecimento de gás natural, o que corresponde a um peso relativo dessa fonte energética de 8,6% relativamente ao total de caldeiras da amostra. Não obstante o Gás Propano ser a forma mais usual desse tipo de combustível nessas situações, foi encontrada uma unidade nos Açores que em vez de Gás Propano utiliza Gás Butano na caldeira de que dispõe.

As restantes caldeiras que utilizam GPL (Propano) incluem-se nos distritos de Braga (2), Setúbal (2), Leiria (1) e Coimbra (1), por sinal distritos onde existem redes de gás natural, mas que no caso das empresas/unidades em questão, estas estarão localizadas longe dessas redes.

De salientar que do total de caldeiras que utiliza GPL como combustível, três (42,9%) pertencem ao sector das Indústrias Alimentares, duas (28,6%) pertencem ao sector da Indústria de Papel e as outras duas (28,6%) são do sector Têxtil.

A 2ª fonte de energia mais importante na amostra considerada é um combustível líquido - o fuelóleo, quase sempre sob a forma de “thick” fuelóleo ou fuelóleo nº 4 BTE (com um teor em S ≤ 1% m/m). Este tipo de combustível é utilizado em 17 das caldeiras consideradas (e apenas abrange caldeiras de vapor), o que representa um peso relativo de 21% em termos globais, isto é, do total de caldeiras da amostra. Estas caldeiras pertencem a 9 empresas de 4 sectores distintos, respectivamente Indústrias Alimentares

(70,6%), Indústria das Bebidas (11,8%), Indústria de Produtos Metálicos (11,8%) e Indústria Farmacêutica (5,9%), e situam-se em distritos tão diferentes como Santarém (8), Lisboa (3), Setúbal (2), Aveiro (2) e Porto (2).

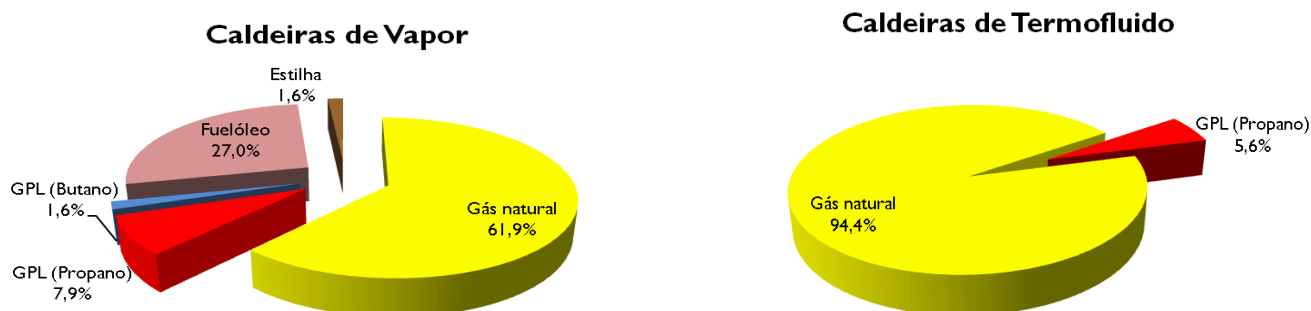



Fig. 4 – Distribuição dos tipos de combustíveis pelas caldeiras da amostra seleccionada.

Além dos combustíveis referidos, também um combustível sólido é consumido numa caldeira de uma empresa do sector Alimentar, localizada no distrito de Leiria. Esse combustível é estilha de madeira, pelo que o seu peso relativo na amostra total considerada é somente de 1,2%.

Se fizermos a análise por tipo de caldeiras, como se ilustra na **Figura 4**, constatamos que no que concerne às caldeiras de vapor os combustíveis gasosos têm um peso relativo de 71,4%, sendo o gás natural o combustível de maior peso com 61,9% e seguindo-se-lhe os GPL com 9,5% (Propano = 7,9% e Butano = 1,6%). Neste tipo de caldeiras, o fuelóleo tem um peso de 27%, enquanto que a estilha representa apenas 1,6%. Portanto, só os dois combustíveis mais representativos – gás natural e fuelóleo, têm nas caldeiras de vapor um peso relativo conjunto de 88,9%.

Já no que se refere às caldeiras de termofluido, apenas dois tipos de combustíveis gasosos são utilizados nesses geradores, respectivamente gás natural com um peso de 94,4% e GPL (Propano) com um peso de 5,6%.

2. RESULTADOS DOS DIAGNÓSTICOS ENERGÉTICOS EFECTUADOS

2.1. AMOSTRA DE GERADORES DE VAPOR ANALISADOS

Os *geradores* ou *caldeiras de vapor* são recipientes metálicos onde se produz vapor de água a pressão superior à atmosférica. A produção do referido vapor é conseguida pela cedência de calor por parte dos gases quentes resultantes da combustão de um combustível, através de paredes metálicas, a um fluido a aquecer, neste caso água, fluido esse contido na própria caldeira. Este tipo de equipamento, que poderemos equiparar a um permutador de calor para produção de um fluido quente (neste caso, vapor), é constituído fundamentalmente por duas partes bem distintas: uma onde é queimado o combustível e na qual se produzem os gases quentes de combustão, constituindo a chamada câmara de combustão, e outra, onde está a água a aquecer para produção do vapor e que portanto está destinada à transmissão de calor. Os gases formados na câmara de combustão seguem, através do gerador de vapor, até à chaminé, por onde saem para o exterior.

Os geradores de vapor da amostra considerada são predominantemente de **tubos de fumo** ou do tipo pirotubular, ou seja com os gases de combustão a circularem dentro de tubos imersos em água, correspondendo a um total de 55 caldeiras desse tipo, isto é 87,3% da totalidade da amostra. Apenas foram encontrados 2 geradores de **tubos de água** ou do tipo aquotubular, isto é com a água a circular dentro dos tubos e os gases de combustão por fora, o que representa um peso relativo de somente 3,2% em relação ao total de 63 caldeiras analisadas. Além das caldeiras referidas, faziam também parte da amostra 6 outras caldeiras do tipo de **vaporização rápida** (ou de serpentina), que embora podendo considerar-se de conteúdo de tubos de água são distintas das anteriores (por envolverem serpentinas e não tubulares e que conduzem apenas à produção de vapor saturado a baixa/média pressão e com capacidades reduzidas, ao contrário do que se entende normalmente por caldeiras aquotubulares, associadas à produção de vapor sobreaquecido ou ainda que saturado, a pressões elevadas). Portanto, este último tipo de caldeiras representa 9,5% do número total de geradores da amostra.

O vapor produzido na quase totalidade das caldeiras analisadas é saturado e pode considerar-se de média pressão (>0,5 bar e < 87 bar), sendo de assinalar que apenas uma das caldeiras objecto de diagnóstico produzia vapor sobreaquecido (a uma pressão entre 30 e 40 bar e a uma temperatura da ordem dos 300 ºC) para ser utilizado numa turbina para produção de energia eléctrica. Nos restantes casos, de produção de vapor saturado, este tem múltiplas aplicações, que vão desde a poder ser utilizado como meio de aquecimento em equipamentos de processo (permutadores de calor, evaporadores, reactores, secadores, râmolas, máquinas de tingir e/ou de acabamentos específicos, prensas, equipamentos de pasteurização e esterilização, tanques e tubagens de fluidos, etc.) até ao aquecimento de ar ambiente.

O vapor pode ser utilizado directamente como meio de aquecimento, fornecendo tanto o seu calor latente como o seu calor sensível, ou indirectamente, fornecendo apenas o seu calor latente com a respectiva recuperação dos condensados.

Como já foi referido, a amostra considerada envolveu 63 geradores de vapor, pertencentes a 45 empresas ou 46 fábricas distintas. De salientar que em algumas empresas, embora a análise tenha incidido sobre duas caldeiras, normalmente apenas uma funciona a maior parte do tempo, sendo a outra usada mais em situações de avaria e/ou de reparações na caldeira principal.

Nos sub-capítulos seguintes é apresentada uma caracterização dos equipamentos analisados, bem como das suas condições de funcionamento e de utilização da energia, e identificado o potencial de economia de energia e de custos, associado a medidas possíveis de implementar, com base nos diagnósticos efectuados.

2.1.1. Caracterização técnica das caldeiras e do equipamento auxiliar

- **Geradores de vapor**

O **Quadro 5** sintetiza as principais características técnicas encontradas nas caldeiras analisadas, por tipo de combustível utilizado, nomeadamente no que concerne aos seguintes itens:

- fabricante,
- ano de fabrico,
- potência nominal,
- superfície de aquecimento,
- tipo de vapor produzido,
- timbre e pressão normal de serviço,
- capacidade máxima de produção de vapor, e
- taxa de ebulição.

De salientar que alguns destes parâmetros nem sempre foram possíveis de determinar para todas as caldeiras analisadas, tendo-se recorrido nessas situações e quando possível ao cruzamento dos vários dados conhecidos e/ou a estimativas (como por exemplo, no caso da determinação da potência nominal) para a obtenção dos dados em falta. Sobre alguns destes parâmetros, merece a pena explicitar aqui claramente o que significam para que não haja dúvidas e, estão neste caso os seguintes:

Superfície de aquecimento: é a área da parte metálica da caldeira que é banhada, por um lado, pelos gases quentes de combustão ou sujeita mesmo à radiação da chama e, por outro lado, pela água a aquecer. Mede-se em metros quadrados (m^2) e para um mesmo tipo de gerador e de combustível,

quanto maior é a superfície de aquecimento, maior é a quantidade de vapor que o gerador pode produzir por hora.

Timbre do gerador: é a pressão máxima (de projecto) que não pode ser excedida durante o seu funcionamento.

Taxa de ebulição: é a razão entre o vapor produzido em volume (m^3) e a superfície de separação (em m^2), que tem limites que dependem da pressão de operação e da salinidade da água. Desta taxa depende em geral o "título" (grau de humidade) do vapor produzido, e o seu valor pode dar indicações sobre possíveis contaminações do vapor com espumas e eventual adulteração dos balanços de massa para cálculo das purgas e da taxa de retorno dos condensados.

Também as **Figuras 5 a 7** ilustram algumas das características mencionadas para a totalidade da amostra de caldeiras de vapor considerada. Da análise de toda esta informação constata-se o seguinte:

- Tendo em conta o **ano de fabrico** das caldeiras analisadas, ainda há uma percentagem considerável destes equipamentos com idade superior a 20 anos, representando ao todo quase 32% da amostra, além de que também em cerca de 13% das caldeiras encontradas se desconhecia a sua idade, pelo que muito provavelmente também estarão naquele lote de geradores de vapor mais antigos.

A caldeira mais antiga, de 1971 e utilizando fuelóleo como combustível, foi encontrada numa empresa do sector das Bebidas, enquanto as caldeiras mais recentes, do tipo de vaporização rápida e consumindo gás natural, eram de 2009, sendo duas do sector Alimentar e uma do sector Papeleiro. A média de idade das caldeiras que consomem gás natural é de 16 anos, enquanto nas caldeiras a fuelóleo é de 19 anos. As caldeiras mais recentes são as que utilizam os outros tipos de combustível, respectivamente com uma média de somente 2 anos de idade nas que consomem GPL e de 3 anos na única que utiliza um combustível sólido (estilha).

- Já no que se refere aos **fabricantes** destes geradores de vapor, é notória uma enorme variedade de origens, tendo sido identificados 20 fabricantes distintos para a totalidade da amostra.

- Em termos de **potências nominais**, há uma distribuição razoável e quase equitativa do número de geradores pelas três gamas mais baixas e que são as que têm maior peso relativo: acima de 150 kW e até 2 MW – cerca de 25% da totalidade da amostra; acima de 2 MW e até 4 MW – 19%; e, acima de 4 MW e até 6 MW – cerca de 22%. Portanto, estamos a falar de um total de 42 geradores nestas gamas, que representam ao todo 66,7% da amostra. O lote é completado com 14 caldeiras (22,2%) na gama que compreende potências superiores a 6 MW e até aos 10 MW, e, com mais 6 caldeiras (9,5%) com potências superiores a 10 MW, além de uma outra de valor desconhecido.

O valor médio de potência nominal é de, respectivamente, 5,0 MW nas caldeiras a gás natural, 7,3 MW nas caldeiras a fuelóleo, 1,2 MW nas caldeiras a GPL e 3,8 MW na caldeira a estilha. O maior valor de

potência nominal (30,99 MW) foi encontrado na única caldeira da amostra que produz vapor sobreaquecido, pertencente a uma empresa do sector de Bebidas, e o menor valor deste parâmetro (174 kW) verificou-se num gerador de uma empresa do sector do Calçado.

- Quanto à **superfície de aquecimento**, cerca de 59% das caldeiras da amostra (ou seja, 37 geradores) apresentam valores que vão até aos 200 m^2. Na gama imediatamente acima (superior a 200 m^2 e inferior ou igual a 400 m^2), situa-se 27% da amostra (17 caldeiras), sendo esta percentagem idêntica à dos geradores com superfície de aquecimento inferior a 100 m^2. Com valores acima dos 400 m^2, apenas encontramos duas caldeiras, correspondendo a um peso relativo de somente 3,2%. De salientar que em 7 dos geradores analisados (11,1%) este parâmetro era desconhecido.

O valor médio de superfície de aquecimento é de, respectivamente, 170 m^2 nas caldeiras que consomem gás natural, 244 m^2 nas caldeiras a fuelóleo, 33 m^2 nas caldeiras a GPL e 166 m^2 na caldeira a estilha. O maior valor deste parâmetro, 628,8 m^2, verifica-se na caldeira já mencionada atrás que produz vapor sobreaquecido e que consome fuelóleo, ao passo que o menor valor de superfície de aquecimento, 7,45 m^2, se encontra numa caldeira de vaporização rápida, a gás natural, do sector Alimentar.

- Em termos de **timbre**, 43 dos 63 geradores analisados (68,3% da amostra) apresentam um valor compreendido na gama "igual ou superior a 10 bar e inferior a 15 bar [1]". A segunda gama com maior peso em termos de número de caldeiras face ao valor do seu timbre é a referida como "igual ou superior a 15 bar e inferior a 20 bar" que inclui 14 caldeiras, correspondendo a 22,2% da amostra. Foram encontradas ainda 4 caldeiras (6,3%) com timbre inferior a 10 bar e duas outras (3,2%) com timbre superior a 20 bar (destas, uma a gás natural, do sector do Papel, com um valor de 22 bar, e outra, a fuelóleo e que é a que produz vapor sobreaquecido, que tem o maior valor de timbre, 49 bar).

Os valores médios de timbre encontrados nos vários tipos de caldeiras segundo o combustível que utilizam foram, respectivamente, 12,7 bar nas caldeiras a gás natural, 14,6 bar nas caldeiras a fuelóleo, 10,6 bar nas caldeiras a GPL e 11,5 bar na caldeira a estilha. As caldeiras com menor timbre analisadas e que consomem gás natural, foram duas de uma empresa do sector de Fabricação de Máquinas e de Equipamentos, n.e., com um valor de 6 bar.

- De entre as caldeiras analisadas, 63,5% (40 geradores) têm uma **pressão normal de serviço** abaixo dos 10 bar e apenas 30,2% (19 geradores) produzem vapor a uma pressão compreendida entre 10 e 15 bar. Há ainda 4 caldeiras que operam noutras gamas de pressão, das quais 3 (4,8%) na gama "igual ou superior a 15 bar e inferior a 20 bar". A caldeira de maior timbre, logicamente, é a que produz vapor a maior pressão (30 a 40 bar), e do mesmo modo também as caldeiras de menor timbre atrás referidas são as que apresentam menor pressão de serviço (4,5 bar). Em termos de valores médios da pressão de serviço por tipo de caldeira, eles são, respectivamente, 9,6 bar nas caldeiras a gás natural, 10,5 bar nas caldeiras a fuelóleo, 7,4 bar nas caldeiras a GPL e 8 bar na caldeira de estilha.

[1] No presente documento e como é usual, sempre que se menciona o timbre ou a pressão de serviço de caldeiras, os valores em bar apresentados, respeitantes a esses parâmetros, referem-se a pressão relativa.

- No que se refere à **capacidade máxima de produção de vapor** das caldeiras analisadas, ainda que bastante variável, em cerca de 79% dos geradores (50) aquele valor situa-se entre 1 e 14 toneladas/hora. Existem ainda 4 caldeiras (6,3%) com uma capacidade inferior a 1 tonelada/hora e outras 5 (7,9%) com uma capacidade superior a 15 toneladas/hora. Destas últimas, uma é a que produz vapor sobreaquecido e que regista o maior valor de toda a amostra, 40 toneladas/hora, e outra a de maior valor de vapor saturado, 23 toneladas/hora, e ambas utilizam fuelóleo como combustível e pertencem ao sector de Bebidas. Foram ainda encontrados 4 geradores de capacidade desconhecida.

Os valores médios de capacidade de produção de vapor (para toda a amostra) são de, respectivamente, 7,2 toneladas/hora nas caldeiras a gás natural, 10,3 toneladas/hora nas caldeiras a fuelóleo e 1,7 toneladas/hora nas caldeiras a GPL. Para a caldeira com estilha não foi possível obter este valor. A caldeira de menor capacidade encontrada, do tipo de vaporização rápida e consumidora de gás natural, pode apenas registar uma produção horária de vapor de 250 quilogramas.

- O parâmetro “taxa de ebulição” só foi possível determinar em 1/3 da amostra (21 geradores). Nesse lote de geradores, 52,4% (11 caldeiras) apresentam valores de taxa de ebulição compreendidos na gama “igual ou superior a 0,030 $m^3/m^2.s$ e inferior a 0,060 $m^3/m^2.s$”, 38,1% (8 caldeiras) têm valores deste parâmetro inferiores a 0,030 $m^3/m^2.s$ e 9,6% (2 caldeiras) registam valores superiores a 0,060 $m^3/m^2.s$. Os maior e menor valores encontrados foram, respectivamente, 0,110 $m^3/m^2.s$ (na caldeira de maior capacidade de produção de vapor saturado já referida) e 0,010 $m^3/m^2.s$ (em duas caldeiras a fuelóleo do sector de Fabricação de Produtos Metálicos).

Os valores médios de taxa de ebulição determinados são de, respectivamente, 0,030 $m^3/m^2.s$ nas caldeiras a gás natural e 0,040 $m^3/m^2.s$ nas caldeiras a fuelóleo, não tendo sido possível a sua obtenção para os outros tipos de geradores.

(NOTA: Ainda relacionado com este parâmetro é de salientar a importância do mesmo tendo em atenção o que foi verificado em, pelo menos, uma das instalações diagnosticadas. Como as caldeiras normalmente trabalham em condições diferentes (sobretudo, em termos de pressão de serviço) comparativamente aos valores nominais de projecto, também a taxa de ebulição se altera em relação aos valores especificados pelo fabricante. Uma redução bastante significativa da pressão normal de produção de vapor relativamente ao timbre do gerador, implica que o volume específico do vapor (em m^3/kg) aumente também significativamente, o que conduz a um substancial acréscimo da taxa de ebulição. Esta situação não é muito grave se a caldeira não estiver a produzir próximo do limite máximo, mas se isso ocorrer, pode haver arrastamento de água juntamente com o vapor devido à violência da superfície de separação. Este fenómeno pode ainda ser agravado pela dimensão da válvula de saída, que se por um lado restringe a saída de vapor, por outro, na tubagem de saída pode provocar o aumento da velocidade, por vezes para valores quase duplos, podendo por exemplo atingir-se velocidades da ordem dos 150 km/h, equivalente a cerca de 42 m/s, quando o dimensionamento da instalação pode ter sido feito para valores da ordem dos 25 m/s, com o consequente impacto em termos de desgaste do equipamento e de toda a instalação que isto provoca).

Quadro 5 – Desagregação do número de caldeiras de vapor analisadas, por tipo de combustível consumido, segundo as suas principais características técnicas.

	Fabricante	Ano	Pot. nom. (MW)	Sup. aquec. (m^2)	Tipo de vapor	Timbre / P serv. (bar $_{rel.}$)	Cap. máx. (t $_{vapor}$/h)	Tx. eb.($m^3/m^2.s$)
Nº. de Caldeiras a Gás Natural	AMBITERMO – 2 Babcock-Wanson – 6 Babcock & Wilcox – 3 CSC – 2 EQUIMETAL – 2 Fonseca & Seabra – 1 GEVA – 1 JOTEX – 1 Luís Gonç. & Irmão – 4 Mangazinni – 1 MORISA – 8 PROTER – 3 SIEGFRIELD – 1 TERMEC – 1 Vulcano Sadeca – 1 YGNIS – 2	Desconhecido - 3 Anterior a 1970 - 2 1970-1979 – 5 1980-1989 – 5 1990-1999 – 7 2000-2009 – 17	Desconhecida – 0 >0,15 e ≤ 2 MW – 8 >2 e ≤ 4 MW – 8 >4 e ≤ 6 MW – 9 >6 e ≤ 8 MW – 6 >8 e ≤ 10 MW – 4 >10 e ≤ 15 MW – 4 >15 e ≤ 20 MW – 0 >20 e < 35 MW – 0	Desconhecida - 5 < 100 m^2 - 8 100-200 m^2 – 15 >200 e ≤ 400 m^2 – 11 >400 e < 650 m^2 – 0	Saturado - 39 Sobreaquecido - 0	<10 bar – 4 / 22 ≥10 e < 15 bar – 24 / 14 ≥15 e < 20 bar – 10 / 3 ≥20 e < 30 bar – 1 / 0 ≥30 e < 50 bar – 0 / 0	Desconhecida – 1 <1 t/h – 3 ≥1 e < 5 t/h – 9 ≥5 e < 10 t/h – 12 ≥10 e < 15 t/h – 11 ≥15 e < 25 t/h – 3 ≥25 e < 45 t/h – 0	Desconhecida – 29 <0,030 m^3/m^2.s – 4 ≥0,030 e <0,060 - 6 ≥0,060 e <0,090 - 0 ≥0,090 e <0,120 - 0
	Total: 39 Caldeiras / 16 Fabricantes	**Total: 39 / 36 Cald. / Idade** (média) **= 16 anos**	**Total: 39 Cald. / Pot. nom.** (média)**= 5,0 MW**	**Total: 39/34 Cald. / Sup. aq.**(média)**=170 m^2**	**Total: 39 Cald. / Vapor saturado**	**Total: 39 Cald. / Timbre** (média) **= 12,7 bar / P serv.**(média) **= 9,6 bar**	**Total: 39 / 38 Cald./ Cap.máx.**(média)**=7,2 t/h**	**Total:39/10Cald./ Tx.eb.**(média)**=0,030**
Nº. de Caldeiras a Fuelóleo	AMBITERMO – 2 EQUIMETAL – 1 LOOS – 1 Mingazzini-Itália – 1 MORISA – 3 PROTER – 2 REI – 1 TERMEC - 4 Termec/Babcock – 1 Valtec Umisa – 1	Desconhecido - 2 Anterior a 1970 - 0 1970-1979 – 3 1980-1989 – 5 1990-1999 – 3 2000-2009 – 4	Desconhecida – 1 >0,15 e ≤ 2 MW – 3 >2 e ≤ 4 MW – 2 >4 e ≤ 6 MW – 5 >6 e ≤ 8 MW – 2 >8 e ≤ 10 MW – 2 >10 e ≤ 15 MW – 0 >15 e ≤ 20 MW – 1 >20 e < 35 MW – 1	Desconhecida - 2 < 100 m^2 - 3 100-200 m^2 – 4 >200 e ≤ 400 m^2 – 6 >400 e < 650 m^2 – 2	Saturado - 16 Sobreaquecido - 1	<10 bar – 0 / 11 ≥10 e < 15 bar – 12 / 5 ≥15 e < 20 bar – 4 / 0 ≥20 e < 30 bar – 0 / 0 ≥30 e < 50 bar – 1 / 1	Desconhecida – 2 <1 t/h – 0 ≥1 e < 5 t/h – 3 ≥5 e < 10 t/h – 6 ≥10 e < 15 t/h – 4 ≥15 e < 25 t/h – 1 ≥25 e < 45 t/h – 1	Desconhecida – 6 <0,030 m^3/m^2.s – 4 ≥0,030 e <0,060 - 5 ≥0,060 e <0,090 - 1 ≥0,090 e <0,120 - 1
	Total: 17 Caldeiras / 10 Fabricantes	**Total: 17 / 15 Cald. / Idade** (média) **= 19 anos**	**Total: 17/16 Cald./ Pot. nom.** (média) **= 7,3 MW**	**Total: 17/15 Cald. / Sup.aq.**(média)**= 244 m^2**	**Total: 17 Cald. / Vapor sat./sobreaq.**	**Total: 17 Cald. / Timbre** (média) **= 14,6 bar / P serv.**(média) **= 10,5 bar**	**Total: 17 / 15 Cald./ Cap.máx.**(média)**=10,3 t/h**	**Total:17/11Cald./ Tx.eb.**(média)**=0,040**

Quadro 5 (continuação)

	Fabricante	Ano	Pot. nom. (MW)	Sup. aquec. (m^2)	Tipo de vapor	Timbre / P serv. (bar $_{rel.}$)	Cap. máx. (t $_{vapor}$/h)	Tx. eb.(m^3/m^2.s)
Nº. de Caldeiras a GPL	Babcock-Wanson – 2 CSC - 2 MORISA – 2	Desconhecido - 3 Anterior a 1970 - 0 1970-1979 – 0 1980-1989 – 0 1990-1999 – 0 2000-2009 – 3	Desconhecida – 0 >0,15 e ≤ 2 MW – 5 >2 e ≤ 4 MW – 1 >4 e ≤ 6 MW – 0 >6 e ≤ 8 MW – 0 >8 e ≤ 10 MW – 0 >10 e ≤ 15 MW – 0 >15 e ≤ 20 MW – 0 >20 e < 35 MW – 0	Desconhecida - 0 < 100 m^2 - 6 100-200 m^2 – 0 >200 e ≤ 400 m^2 – 0 >400 e < 650 m^2 – 0	Saturado - 6 Sobreaquecido - 0	<10 bar – 0 / 6 ≥10 e <15 bar – 6 / 0 ≥15 e <20 bar – 0 / 0 ≥20 e <30 bar – 0 / 0 ≥30 e <50 bar – 0 / 0	Desconhecida – 0 <1 t/h – 1 ≥1 e < 5 t/h – 5 ≥5 e < 10 t/h – 0 ≥10 e < 15 t/h – 0 ≥15 e < 25 t/h – 0 ≥25 e < 45 t/h – 0	Desconhecida – 6 <0,030 m^3/m^2.s – 0 ≥0,030 e <0,060 - 0 ≥0,060 e <0,090 - 0 ≥0,090 e <0,120 - 0
	Total: 6 Caldeiras / 3 Fabricantes	**Total: 6 / 3 Caldeiras / Idade** (média) **= 2 anos**	**Total: 6 Cald. / Pot. nom.** (média)**= 1,2 MW**	**Total: 6 Cald. / Sup. aq.** (média) **= 33 m^2**	**Total: 6 Cald. / Vapor saturado**	**Total: 6 Cald. / Timbre** (média) **= 10,6 bar / P serv.**(média) **= 7,4 bar**	**Total: 1 Cald. / Cap. máx.** (média) **= 1,7 t/h**	**Total: 6 Cald. / Tx.eb.**(média)**=n.d.**
Caldeira a Estilha	AMBITERMO – 1	Desconhecido - 0 Anterior a 1970 - 0 1970-1979 – 0 1980-1989 – 0 1990-1999 – 0 2000-2009 – 1	Desconhecida – 0 >0,15 e ≤ 2 MW – 0 >2 e ≤ 4 MW – 1 >4 e ≤ 6 MW – 0 >6 e ≤ 8 MW – 0 >8 e ≤ 10 MW – 0 >10 e ≤ 15 MW – 0 >15 e ≤ 20 MW – 0 >20 e < 35 MW – 0	Desconhecida - 0 < 100 m^2 - 0 100-200 m^2 – 1 >200 e ≤ 400 m^2 – 0 >400 e < 650 m^2 – 0	Saturado - 1 Sobreaquecido - 0	<10 bar – 0 / 1 ≥10 e <15 bar – 1 / 0 ≥15 e <20 bar – 0 / 0 ≥20 e <30 bar – 0 / 0 ≥30 e <50 bar – 0 / 0	Desconhecida – 1 <1 t/h – 0 ≥1 e < 5 t/h – 0 ≥5 e < 10 t/h – 0 ≥10 e < 15 t/h – 0 ≥15 e < 25 t/h – 0 ≥25 e < 45 t/h – 0	Desconhecida – 1 <0,030 m^3/m^2.s – 0 ≥0,030 e <0,060 - 0 ≥0,060 e <0,090 - 0 ≥0,090 e <0,120 - 0
	Total: 1 Caldeira / 1 Fabricante	**Total: 1 Caldeira / Idade** (média) **= 3 anos**	**Total: 1 Cald. / Pot. nom.** (média)**= 3,8 MW**	**Total: 1 Cald. / Sup. aq.** (média) **= 166 m^2**	**Total: 1 Cald. / Vapor saturado**	**Total: 1 Cald. / Timbre** (média) **= 11,5 bar / P serv.**(média) **= 8 bar**	**Total: 1 Cald. / Cap. máx.** (média) **= n.d.**	**Total: 1 Cald. / Tx.eb.**(média)**=n.d.**

NOTA: n.d. = valor não disponível (Valores de parâmetros referenciados como desconhecidos correspondem a esta situação, na maioria dos casos por não terem sido facultados pelas Empresas Industriais e/ou até por desconhecimento dos mesmos por parte dos seus responsáveis técnicos).

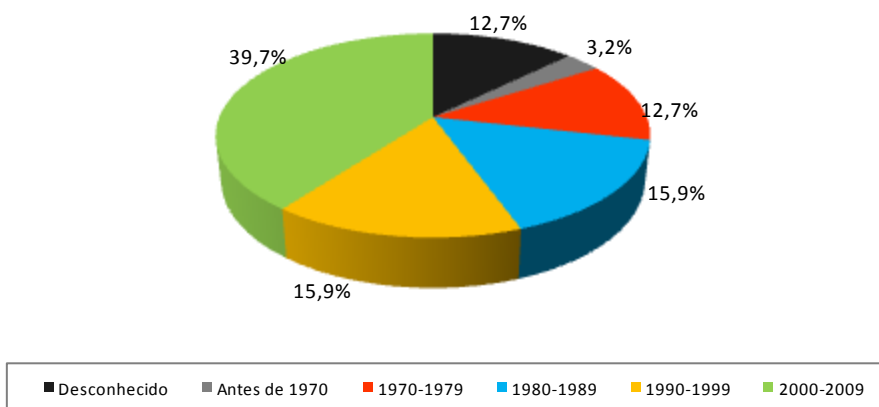



Fig. 5 – Distribuição dos Geradores de Vapor em função do Ano de Fabrico

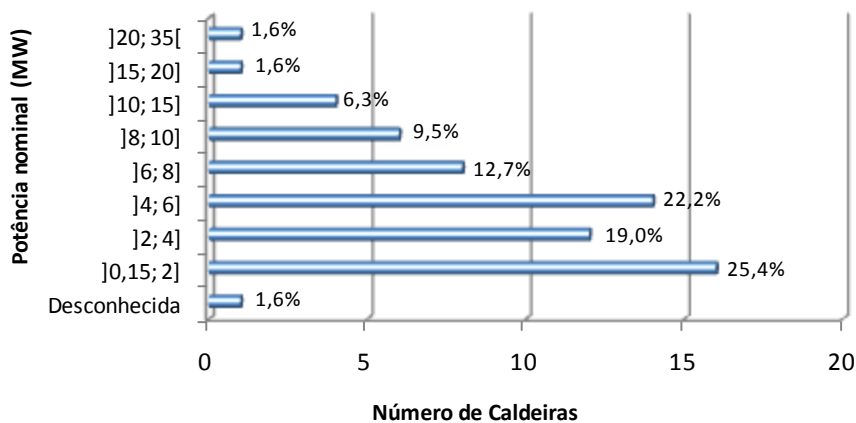



Fig. 6 – Distribuição dos Geradores de Vapor em função da Potência Nominal

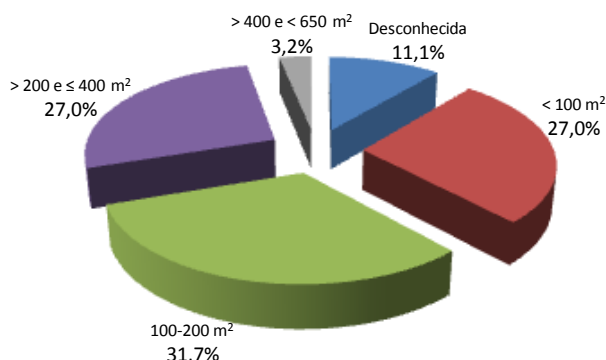



Fig. 7 – Distribuição dos Geradores de Vapor em função da Superfície de Aquecimento

No **Quadro 6** apresenta-se ainda uma síntese de outras características técnicas dos geradores de vapor da amostra analisada. São dados pormenores sobre as condições normais do vapor produzido, as características da câmara de combustão e da(s) câmara(s) de inversão[2], o número de passagens dos gases de combustão[3], o tubular[4] e os tipos de isolamento térmico e de protecção exterior dos geradores e seus estados de conservação.

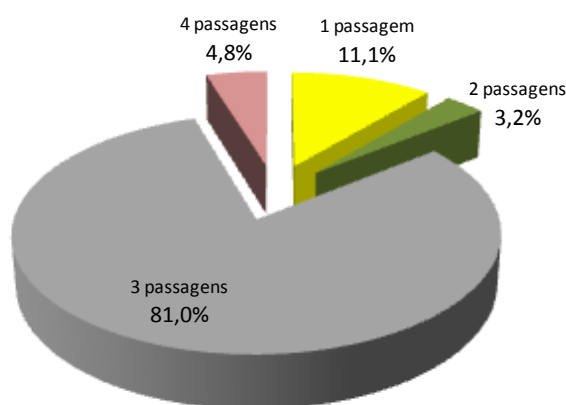



Fig. 8 – Distribuição dos Geradores de Vapor pelo Número de Passagens dos Gases de Combustão

[2] Câmara de inversão: parte do gerador onde se faz a inversão dos gases quentes resultantes da combustão. Esta câmara, quando existente e no que se refere ao seu tipo, pode classificar-se em molhada (totalmente envolvida por água), seca ou parcialmente seca. Foram identificados alguns geradores com duas câmaras de inversão, em que uma é do tipo molhada e outra do tipo seca, e tais situações são referidas no Quadro 6 como "Misto M/S".

[3] O número de passagens dos gases de combustão, que pode ser 1, 2, 3 ou 4, depende do número de câmaras de inversão.

[4] Tubular: conjunto de tubos do gerador onde circulam os gases quentes de combustão ou o fluído (água) a aquecer.

Quadro 6 – Outras características técnicas da amostra de geradores de vapor analisados

(NOTA: As percentagens indicadas para diversos itens referem-se ao número de caldeiras que verificam esse item comparativamente ao total de caldeiras do tipo em análise).

Tipo de Geradores	Condições normais de operação dos Geradores		Câmara de combustão		Número de passagens dos gases de combustão e câmara(s) de inversão (CI)			Tubos		Isolamento e protecção ext.	Estado de conservação
	T_{vapor} (ºC)	$T_{água\ alim.}$ (ºC)	Tipo	Posição	Nº. pass.	Existência de CI	Tipo de CI	Posição	Conteúdo		
Caldeiras a Gás Natural (39)	Mín. – 156 Máx. – 211 Média – 181	Mín. – 50 Máx. – 177 Média – 97	Fornalha – 28% Tubo de fogo – 36% Tubular – 36%	Interior – 100% Exterior – 0%	1 – 10% 2 – 5% 3 – 82% 4 – 3%	Sim – 90% Não – 10%	Molhada – 15% Seca – 39% Parcialm/ seca – 31% Misto M/S – 5% Desconhecido – 10%	Horizontais – 95% Inclinados – 5% Verticais – 0%	T. fumo – 92% T. água – 8%* * Caldeiras de va-porização rápida (ou de serpentina)	Isolamento Lã min. – 87% Lã de vidro – 10% Desconhecido – 3% Protecção exterior Ch. alum. – 72% Ch. aço (inox, ...) – 18% Ch. zinco – 10%	Bom – 82% Razoável – 18% Deficiente – 0%
Caldeiras a Fuelóleo (17)	Mín. – 163 Máx.–198^{sat}/300^{saq} Média – 187	Mín. – 65 Máx. – 214 Média – 110	Fornalha – 23% Tubo de fogo – 12% Tubular – 65%	Interior – 82% Exterior – 6% n.d. – 12%	1 – 18% 2 – 0% 3 – 82% 4 – 0%	Sim – 82% Não – 18%	Molhada – 0% Seca – 59% Parcialm/ seca – 12% Misto M/S – 12% Desconhecido – 17%	Horizontais – 88% Inclinados – 0% Verticais – 0% Desconhecida-12%	T. fumo – 88% T. água – 12%	Isolamento Lã min. – 100% Lã de vidro – 0% Outro (tij. refr./ isol.) –18% Protecção exterior Ch. alum. – 88% Ch. aço (galvaniz.) –12% Ch. zinco – 0%	Bom – 86% Razoável – 14% Deficiente – 0%
Caldeiras a GPL (6)	Mín. – 165 Máx. – 175 Média – 171	Mín. – 80 Máx. – 105 Média – 88	Fornalha – 0% Tubo de fogo – 50% Tubular – 50%	Interior – 100% Exterior – 0%	1 – 0% 2 – 0% 3 – 67% 4 – 33%	Sim – 100% Não – 0%	Molhada – 33% Seca – 50% Parcialm/ seca – 0% Misto M/S – 0% Desconhecido – 17%	Horizontais – 83% Inclinados – 0% Verticais – 0% Desconhecida-17%	T. fumo – 50% T. água – 50%* * Caldeiras de va-porização rápida (ou de serpentina)	Isolamento Lã min. – 50% Lã de vidro – 17% Desconhecido – 33% Protecção exterior Ch. alum. – 50% Ch. aço – 17% Ch. zinco – 33%	Bom – 100% Razoável – 0% Deficiente – 0%
Caldeira a Estilha (1)	Mín. – 175 Máx. – 175 Média – 175	Mín. – 105 Máx. – 105 Média – 105	Fornalha – 100% Tubo de fogo – 0% Tubular – 0%	Interior – 100% Exterior – 0%	1 – 0% 2 – 0% 3 – 100% 4 – 0%	Sim – 100% Não – 0%	Molhada – 0% Seca – 100% Parcialm/ seca – 0% Misto M/S – 0%	Horizontais – 100% Inclinados – 0% Verticais – 0%	T. fumo – 100% T. água – 0%	Isolamento Lã min. – 0% Lã de vidro – 100% Outro – 0% Protecção exterior Ch. alum. – 100% Ch. aço – 0% Ch. zinco – 0%	n.d.

Da análise do Quadro anterior conclui-se que:

- São as caldeiras a fuelóleo que produzem vapor, em termos médios, a uma maior temperatura (187ºC), ainda que haja um gerador a gás natural (de uma fábrica do sector Papeleiro) que registe o maior valor de **temperatura de vapor** saturado (211 ºC). A média para os geradores de fuelóleo também entra em conta com a temperatura mais elevada que se obtém no único gerador que produz vapor sobreaquecido (300 ºC). Os valores de temperatura do vapor produzido são obviamente condicionados pelas pressões a que operam os geradores[5], já comentadas atrás. Em termos de valores mínimos de temperatura de vapor, ainda que sejam as caldeiras a gás natural que os registam, pode-se dizer, em termos gerais, que não há grandes diferenças entre os vários tipos de caldeiras, variando entre os 156 ºC naquelas e os 175 ºC na caldeira a estilha, com valores intermédios e muito próximos nos outros geradores (163 ºC nas de fuelóleo e 165 ºC nas de GPL).

Já no que respeita à **temperatura da água de alimentação** dos geradores, é evidente a existência de algumas diferenças entre os vários tipos de caldeiras. O valor médio mais elevado (110 ºC) encontra-se nas caldeiras a fuelóleo, seguindo-se-lhes por ordem decrescente a caldeira a estilha (105 ºC), as caldeiras a gás natural (97 ºC) e as caldeiras a GPL (88 ºC). O menor valor da temperatura da água de alimentação (50 ºC) regista-se numa caldeira a gás natural, ao passo que o maior valor dessa temperatura (214 ºC) se encontra na caldeira a fuelóleo que produz vapor sobreaquecido. Esta temperatura depende da taxa de retorno de condensados e de haver ou não recuperação de calor dos gases de aquecimento por via de um economizador (para pré-aquecimento da água que alimenta o gerador), e quanto maior for o seu valor maior será o rendimento térmico da caldeira. Um valor baixo da temperatura da água de alimentação como o atrás indicado também pode ser indiciador de haver uma grande percentagem de água de compensação (cerca de 70%[6]), ou perdas significativas de calor por parte dos condensados, antes de serem reutilizados, por exemplo, através de tubagens não isoladas. De salientar, por exemplo, que foram ao todo identificados 9 geradores (14% da amostra) com temperatura da água de alimentação inferior a 80 ºC.

- Quanto ao tipo de **câmara de combustão** mais frequente, é a *câmara de combustão tubular* que regista maior percentagem de caldeiras, 44,4% ao todo, seguindo-se-lhe os tipos *tubo de fogo* com 30,2% e *fornalha* com 25,4% da totalidade das caldeiras. A posição desta câmara é predominantemente no interior do gerador (95,2% da amostra), tendo apenas sido detectado um caso de uma caldeira a fuelóleo, que funciona também como "termodestrutor" [7], com câmara de combustão exterior (1,6% da amostra). Foram também encontrados dois outros geradores a fuelóleo em que não foi possível confirmar a natureza da posição da referida câmara de combustão.

---

[5] Com o objectivo de assegurar a máxima transferência de calor, as caldeiras devem funcionar à pressão de vapor mais baixa possível, a que corresponde também, no caso de vapor saturado, a temperatura mais baixa. É de referir que a entalpia específica de evaporação aumenta com a diminuição da pressão, pelo que, quanto mais baixa for a pressão, maior quantidade de calor está disponível por kg de vapor.

[6] A proporção de água de compensação consumida pode ser calculada pela seguinte equação, na qual as temperaturas envolvidas vêm expressas em graus centígrados:

% Água de compensação = ((Temp. da água de retorno – Temp. da água de alimentação) / (Temp. da água de retorno – Temp. da água de compensação)) x 100

[7] Este equipamento, além da produção de vapor, tem também a finalidade de destruir por queima a alta temperatura os gases resultantes do processo de fabrico.

- A maior parte dos geradores da amostra (81%) apresenta três **passagens dos gases de combustão**, derivado do facto de haver uma câmara de inversão de gases anterior e outra câmara posterior. Seguem-se-lhe por ordem de importância as caldeiras sem câmaras de inversão, portanto com uma única passagem de gases pela caldeira e com um peso relativo de 11,1% da totalidade da amostra, as caldeiras com três câmaras de inversão e quatro passagens de gases, representando 4,8% da amostra, e as caldeiras com uma única câmara de inversão e duas passagens de gases de combustão, com um peso de 3,2%. Normalmente as caldeiras de duas passagens de gases só são utilizadas para pequenas produções de vapor ou pressões de vapor reduzidas. As caldeiras de quatro passagens de gases encontradas são todas do tipo de vaporização rápida e 6 das 7 caldeiras com uma única passagem de gases apresentam das maiores superfícies de aquecimento da amostra (> 246 m^2).

- Quanto aos **tipos de câmaras de inversão** encontradas, em 46% dos geradores são secas, em 22% parcialmente secas, em 13% molhadas e em 6% do tipo “misto, com uma câmara molhada e outra seca”. Em oito dos geradores analisados (13%) não foi possível obter informação sobre esta característica técnica. Todos os geradores com câmaras de tipo “misto” são de 3 passagens de gases, tal como aqueles com câmaras parcialmente secas, e todos os que apresentam câmaras molhadas são de 2 passagens de gases. Já os geradores de 4 passagens de gases têm todos câmaras de inversão secas.

- Como já foi referido, 87,3% das caldeiras da amostra, em termos de conteúdo dos **tubos**, são do tipo “tubos de fumo”, sendo portanto as restantes 12,7% do tipo “tubos de água”. Deste último valor, 9,5% têm a particularidade de serem caldeiras de vaporização rápida, isto é, geradores em que o corpo de pressão é constituído por serpentinas tubulares, dentro das quais circula o fluido a aquecer (água/vapor), serpentinas essas que são aquecidas, exteriormente, quer pela radiação da chama proveniente da combustão do combustível, quer pelos gases de combustão.

Já no que respeita à posição dos referidos tubos (e considerando também a do eixo da serpentina no caso das caldeiras de vaporização rápida), podemos dizer que é predominante a posição horizontal, dado que é a que se verifica em 92,1% das caldeiras da amostra. Apenas em dois geradores (3,2% da amostra), com uma única passagem de gases de combustão, foi detectada uma posição diferente dos tubos, concretamente a inclinada. Houve ainda três geradores, dois dos quais com uma única passagem de gases e o outro com três passagens, em que não foi possível conhecer a posição exacta dos tubos.

- O **isolamento térmico**, propriamente dito, em 85,4% das caldeiras é constituído por mantas de lã mineral. Verifica-se também que, em 3 dessas caldeiras (4,8%), a par da lã mineral, existe um outro isolamento em tijolo refractário ou isolante. Apenas em 6 caldeiras (9,5% da amostra) se encontra um material isolante diferente da lã mineral, concretamente lã de vidro, e em 3 outras caldeiras não foi possível identificar o material do referido isolamento.

Os isolamentos térmicos atrás mencionados são protegidos por chapas metálicas, na maioria dos casos de alumínio (em 75% dos geradores), mas podendo encontrar-se também de outros materiais, tais como

aço, sobretudo inoxidável ou galvanizado (16%), e zinco (9%). Também em 3 das caldeiras analisadas (todas de vaporização rápida) foi observada uma camisa de ar comburente que funciona igualmente como isolamento desses geradores.

- No que respeita ao **estado de conservação** dos geradores e em concreto dos seus isolamentos térmicos e respectivas protecções exteriores, ele é de um modo geral satisfatório – bom (isto é, com temperaturas médias de superfície até 50 ºC) em 84,1% dos geradores e razoável (ou seja, com temperaturas médias de superfície superiores a 50 ºC e inferiores ou iguais a 65 ºC) nos restantes. Não foi encontrado nenhum gerador com temperatura média das paredes acima dos 65ºC (estado deficiente).

- **Equipamento auxiliar**

Como principal equipamento auxiliar dos geradores de vapor, considera-se o equipamento de queima ou de combustão, o equipamento de armazenagem e alimentação de combustível[8], as bombas de alimentação de água e de combustível (no caso do fuelóleo), os ventiladores de ar de combustão (e, eventualmente, também de gases de combustão se a tiragem for forçada[9]), os desgasificadores (só em determinadas instalações), os economizadores[10], os pré-aquecedores de ar de combustão e as chaminés dos geradores. O Quadro seguinte sintetiza as principais características de alguns destes equipamentos encontrados na amostra de geradores de vapor analisados, não se incluindo nele quaisquer referências a equipamento de armazenagem e alimentação de combustível, nem a desgasificadores e a outro equipamento específico para tratamento da água de alimentação dos geradores, que são comentados separadamente no item 2.1.2.

Os Quadros 8 e 9 ilustram os valores de temperaturas de fluidos (gases de combustão e água de alimentação ou ar de combustão) que se verificam, respectivamente, em economizadores e em pré-aquecedores de ar de combustão de alguns exemplos de geradores de vapor da amostra que têm esses equipamentos de recuperação de calor. De salientar que os economizadores conduzem normalmente a ganhos de rendimento dos geradores que os têm da ordem de 4 a 6%, ao passo que o incremento de rendimento em geradores com pré-aquecedores de ar de combustão é tipicamente de 1-2%, comparativamente às situações sem estes tipos de recuperação de calor dos fumos, o que se traduz em economias de combustível. No caso de geradores a fuelóleo há que ter em atenção o seguinte:

---

[8] Os combustíveis gasosos não implicam normalmente dispositivos muito elaborados de alimentação aos geradores. São em geral recebidos sob pressão e o controlo da sua alimentação reduz-se praticamente ao accionamento de uma válvula. Os combustíveis líquidos são normalmente bombados e pulverizados na câmara de combustão e essa pulverização exige quase sempre pressões relativamente elevadas (da ordem de 5 a 10 kg/cm^2). A bombagem de fuelóleo implica o seu pré-aquecimento a cerca de 70-80ºC, a fim de reduzir a valores aceitáveis a sua viscosidade e tensão superficial. No caso de combustíveis sólidos, a sua alimentação aos geradores é feita por dispositivos mecânicos com maior ou menor grau de automatização (desde a alimentação manual à alimentação inteiramente automática).

[9] A alimentação de ar à combustão pode ser feita aspirando os gases de combustão ou forçando a entrada de ar na câmara de combustão (com um ventilador, por exemplo). A 1ª hipótes apresenta a vantagem de a câmara ficar sob ligeira depressão, o que impede a fuga dos gases de combustão para o ambiente. Estes devem ser sempre lançados a determinada altitude, dispersando-os no ar, a fim de evitar uma intensa poluição local. É por isso sempre indispensável utilizar chaminés. Pode aproveitar-se o facto dos gases de combustão (com temperatura sempre superior à ambiente) devido à sua densidade ser inferior à do ar, provocarem uma sucção na chaminé. Este efeito é aproveitado na "tiragem natural dos gases de combustão" pelas chaminés. Quando, para conseguir uma tiragem natural suficiente, é necessário utilizar chaminés de altura exagerada, pode prever-se "tiragem forçada" utilizando ventiladores. Os ventiladores utilizados para tiragem dos gases são colocados, normalmente, entre a câmara de combustão e a chaminé.

[10] Algumas instalações de geradores de vapor incluem economizadores (aquecedores de água de alimentação) destinados a recuperar uma parte do calor dos gases de combustão (fumos). O economizador monta-se entre o gerador de vapor e a chaminé. Deve existir a possibilidade de fazer passar directamente os fumos do gerador para a chaminé sem passar pelo economizador, dado que tal solução se revela bastante interessante por permitir pôr o economizador fora de serviço sem interromper o funcionamento do gerador (importante em situações de acendimento e subida de pressão ou durante paragens temporárias).

Quadro 7 – Principal equipamento auxiliar dos geradores de vapor analisados

(NOTA: As percentagens indicadas para os diversos itens referem-se ao número de caldeiras que verificam esse item comparativamente ao total de caldeiras do tipo em análise)

Tipo de Geradores	Equipamento de queima				Bombas		Ventiladores de ar de combustão	Economizadores e pré-aquecedores de ar de combustão	Chaminés
	Sistema	**Marca e Ano do queimador**	**Tipo de queimador**	**Modo de regulação autom.**	**Tipo / Pot. típica (kW)** (de combustível)	**Tipo / Pot. típica (kW)** (de água de aliment.)	**Tipo / Pot. típica (kW)**		**Características**
Caldeiras a Gás Natural (39)	Queimador – 100%	Marca Babcock-Wanson–15% Cuenod – 15% Eclipse – 3% FBR – 3% General Brutiattori– 5% Hamworthy – 15% Oertli-Induflame – 10% Proterm – 3% Roca – 5% Saacke – 3% Weishaupt – 23% Ano Desconhecido – 28% 1990-1999 – 8% 2000-2009 – 64% (Média de idade= 7 anos)	Sem mistura prévia, de chama de difusão – 21% Monobloco, de ar insuflado – 31% Dual Gás/Fuel - tipo copo rotativo – 5% Dual Gás/Fuel – inj. por pressão mecânica – 26% Não especificado – 17%	"Tudo ou Nada"– 0% "Dois Estágios" – 15% "Modulante" – 85%	Não aplicável	Tipo Centrífuga (mono e multicelular) – 90% De deslocamento positivo ou volumétricas – tipo alternativas com pistões – 8% Não especificado – 2% Valores típicos de potência Mín. (kW) – 0,25 Máx. (kW) – 29,4 Média (kW) – 9,8	Tipo Centrífugo – 100% Valores típicos de potência Mín. (kW) – 0,25 Máx. (kW) – 37 Média (kW) – 13,3	Economizador Existente – 41%* Não existente – 59% Pré-aquecedor de ar de comb. Existente – 0% Não existente – 100% * 1 dos 16 economizadores existentes está fora de serviço. Vide no Quadro 8 alguns exemplos das condições operatórias destes economizadores.	Tipo de saída dos fumos Para cima – 87% Na horizontal – 8% Para baixo – 5% Material de construção Aço – 90% Outro – 10% Tipos de isolam. / prot. ext. Lã mineral / Ch. alum. – 18% Lã de vidro / Ch. alum. – 21% Lã mineral / Ch. aço galv. – 3% Lã min. / Sem protecção – 13% Sem isolam. e sem prot. – 45% Tipo de tiragem Natural – 100% Forçada – 0% Regulador de tiragem (*damper*) Automático (tudo / nada) – 0% Automático (modulante) – 0% Manual – 49% Não existente – 51%
Caldeiras a GPL (6)	Queimador – 100%	Marca Babcock-Wanson–33% Nu-Way – 17% Weishaupt – 50% Ano Desconhecido – 50% 2000-2009 – 50% (Média de idade= 2 anos)	Sem mistura prévia, de chama de difusão – 33% Monobloco, de ar insuflado – 50% Não especificado – 17%	"Tudo ou Nada"– 0% "Dois Estágios" – 83% "Modulante" – 17%	Não aplicável	Tipo Centrífuga (mono e multicelular) – 50% De deslocamento positivo ou volumétricas – tipo alternativas com pistões–50% Valores típicos de potência Mín. (kW) – 1,1 Máx. (kW) – 4 Média (kW) – 2,5	Tipo Centrífugo – 100% Valores típicos de potência Mín. (kW) – 1,5 Máx. (kW) – 7,5 Média (kW) – 3,1	Economizador Existente – 17%* Não existente – 83% Pré-aquecedor de ar de comb. Existente – 0% Não existente – 100% * Vide no Quadro 8 as condições operatórias deste economizador.	Tipo de saída dos fumos Para cima – 83% Na horizontal – 17% Para baixo – 0% Material de construção Aço – 100% Outro – 0% Tipos de isolam. / prot. ext. Lã mineral / Ch. alum. – 33% Lã de vidro / Ch. alum. – 0% Lã mineral / Ch. aço galv. – 0% Lã min. / Sem protecção – 0% Sem isolam. e sem prot. – 67% Tipo de tiragem Natural – 100% Forçada – 0% Regulador de tiragem (*damper*) Automático (tudo / nada) – 0% Automático (modulante) – 0% Manual – 33% Não existente – 67%

Quadro 7 (continuação)

Tipo de Geradores	Equipamento de queima				Bombas		Ventiladores de ar de combustão	Economizadores e pré-aquecedores de ar de combustão	Chaminés
	Sistema	Marca e Ano do queimador	Tipo de queimador	Modo de regulação autom.	Tipo / Pot. típica (kW) (de combustível)	Tipo / Pot. típica (kW) (de água de aliment.)	Tipo / Pot. típica (kW)		Características
Caldeiras a Fuelóleo (17)	Queimador – 100%	Marca Hamworthy – 6% Pillard – 12% Ray – 12% Saacke – 59% Desconhecido – 11% Ano Desconhecido – 34% 1970-1979 – 6% 1980-1989 – 24% 1990-1999 – 18% 2000-2009 – 18% (Média de idade=17 anos)	Pulveriz. por centrifugação (copo rotativo) – 71% Pulveriz. por injecção de vapor – 12% Pulveriz. por injecção de ar* ou vapor - 18% Pulveriz. mecânica – 0% * Maioritariamente só para arranque	"Tudo ou Nada"– 12% "Dois Estágios" – 0% "Modulante" – 88%	Tipo De deslocamento positivo ou volumétricas – tipo rotativa de carretos ou engrenagens exteriores – 82% De deslocamento positivo ou volumétricas – tipo rotativa de parafuso – 6% Centrífuga monocelular– 12% Valores típicos de potência Mín. (kW) – 0,7 Máx. (kW) – 5,5 Média (kW) – 2	Tipo Centrífuga multicelular– 88% Não especificado – 12% Valores típicos de potência Mín. (kW) – 1,5 Máx. (kW) – 110 Média (kW) – 18,7	Tipo Centrífugo – 100% Valores típicos de potência Mín. (kW) – 0,55 Máx. (kW) – 132 Média (kW) – 27,5 (Nota: Numa destas caldeiras há ainda 1 ventilador de tiragem forçada dos gases de combustão com 75 kW de potência)	Economizador Existente – 12%* Não existente – 88% Pré-aquecedor de ar de comb. Existente – 12%** Não existente – 88% * Vide no Quadro 8 alguns exemplos das condições operatórias destes economizadores. ** Vide no Quadro 9 as condições operatórias destes pré-aquecedores.	Tipo de saída dos fumos Para cima – 88% Na horizontal – 6% Para baixo – 6% Material de construção Aço – 100% Outro – 0% Tipos de isolam. / prot. ext. Lã mineral / Ch. alum. – 35% Lã de vidro / Ch. alum. – 0% Lã mineral / Ch. aço galv. – 0% Lã min. / Sem protecção – 0% Sem isolam. e sem prot. – 65% Tipo de tiragem Natural – 94% Forçada – 6% Regulador de tiragem (*damper*) Automático (tudo / nada) – 18% Automático (modulante) – 0% Manual – 12% Não existente – 70%
Caldeira a Estilha (1)	Grelha mec./ Parafuso sem-fim – 100%	Não aplicável	Não aplicável	"Modulante" – 100%	Não aplicável	Tipo Centrífuga multicelular–100% Valores típicos de potência Mín. (kW) – 4 Máx. (kW) – 4 Média (kW) – 4	Tipo Centrífugo – 100% Valores típicos de potência Mín. (kW) – 4 Máx. (kW) – 4 Média (kW) – 4 (Nota: Nesta caldeira há ainda 1 ventilador de tiragem forçada dos gases de combustão com 30 kW de potência)	Economizador Existente – 0% Não existente – 100% Pré-aquecedor de ar de comb. Existente – 0% Não existente – 100%	Tipo de saída dos fumos Para cima – 0% Na horizontal – 100% Para baixo – 0% Material de construção Aço – 100% Outro – 0% Tipos de isolam. / prot. ext. Lã mineral / Ch. alum. – 0% Lã de vidro / Ch. alum. – 0% Lã mineral / Ch. aço galv. – 0% Lã min. / Sem protecção – 0% Sem isolam. e sem prot. – 100% Tipo de tiragem Natural – 0% Forçada – 100% Regulador de tiragem (*damper*) Automático (tudo / nada) – 0% Automático (modulante) – 0% Manual – 0% Não existente – 100%

- O enxofre, sempre presente nos fuelóleos, é um elemento indesejável, uma vez que os produtos da sua combustão são corrosivos e poluentes. No decurso da combustão do fuelóleo o enxofre ao combinar-se com o oxigénio do ar dá origem ao anidrido sulfuroso (SO_2). Na prática a combustão processa-se com excesso de ar, em maior ou menor grau e em presença de elementos catalizadores provenientes do combustível (p. ex., óxidos de vanádio) ou das próprias paredes metálicas da instalação de queima (óxidos de ferro). Nestas condições parte do SO_2 é oxidado dando origem ao aparecimento de SO_3 que por sua vez reage com o vapor de água formado durante a combustão para dar H_2SO_4. O ácido sulfúrico gasoso assim formado vai-se condensar a partir de determinada temperatura (ponto de orvalho dos gases de combustão), dando origem a fenómenos de corrosão a baixa temperatura. Com o fim de minimizar a corrosão dos equipamentos é conveniente limitar a formação de SO_3 trabalhando com o mínimo excesso de ar possível (desta forma melhora-se também o rendimento da combustão).

Por outro lado, é importante que a temperatura dos fumos se mantenha sempre acima da temperatura do ponto de orvalho para se evitar condensações de água acidulada na instalação e na chaminé. Assim, para este tipo de combustível, com um teor de enxofre não superior a 1%, nunca se deve baixar a temperatura dos fumos para valores inferiores a 150 ºC [11]. Convém igualmente que a temperatura da água à entrada do economizador não seja demasiado baixa, para evitar a condensação dos fumos sobre os tubos, o que também provoca corrosões exteriores.

Quadro 8 – Exemplos de condições operatórias encontradas nos economizadores.

Tipo de caldeira	$T_{\text{fumos à entrada}}$ (ºC)	$T_{\text{fumos à saída}}$ (ºC)	$T_{\text{água à entrada}}$ (ºC)	$T_{\text{água à saída}}$ (ºC)
Cald. a Fuelóleo de 18,2 MW	340	210	105	140
Cald. a GN de 10,3 MW	240	140	105	139
Cald. a GN de 9,2 MW	200	150	75	112
Cald. a GN de 7,1 MW	198	139	103	116
Cald. a GN de 5,5 MW	250	130	80	115
Cald. a GPL de 2,7 MW	182	164	40	80

Quadro 9 – Exemplos de condições operatórias encontradas nos pré-aquecedores de ar de combustão.

Tipo de caldeira	$T_{\text{fumos à entrada}}$ (ºC)	$T_{\text{fumos à saída}}$ (ºC)	$T_{\text{ar à entrada}}$ (ºC)	$T_{\text{ar à saída}}$ (ºC)
Cald. a Fuelóleo de 3,9 MW	240	160	40	145
Cald. a Fuelóleo de 31,0 MW*	149	110	12	138

* Este gerador, que é o que produz vapor sobreaquecido, também tem economizador e a temperatura dos fumos à entrada do pré-aquecedor de ar de combustão corresponde à que se verifica (nos fumos) à saída do economizador.

Analisando os dados dos Quadros anteriores conclui-se que:

[11] De salientar que caso o fuelóleo tenha um teor de enxofre superior a 1% (que é o valor máximo que a actual legislação permite) e que seja por exemplo da ordem dos 3% como sucedia há uns anos atrás, o limite de temperatura até ao qual se pode baixar a temperatura dos fumos já não é os 150 ºC acima referidos, mas antes um valor superior, de cerca de 200 ºC. Estes problemas de corrosões e limites de temperaturas dos fumos já não se colocam com combustíveis praticamente isentos em enxofre, como é o caso do gás natural e dos GPL, em que é possível baixar a temperatura dos gases de combustão até valores abaixo do ponto de orvalho da água sem causar problemas significativos de corrosão, sendo possível inclusive com determinados economizadores aproveitar o calor latente de condensação do vapor de água contido nos fumos, pelo que é perfeitamente possível, com esses combustíveis, obter temperaturas de saída dos gases dos economizadores da ordem dos 65 ºC.

Actualmente, estão ainda em fase de desenvolvimento permutadores especiais auto-controlados, para recuperação de calor em gases com possibilidades de formações ácidas corrosivas, em que o segredo do auto-controlo está na temperatura de ebulição do que está no interior. A tecnologia baseia-se na permuta de calor para um fluido intermédio com mudança de estado físico, de forma a controlar a temperatura mínima pelo ponto de ebulição desse fluido, podendo recorrer-se a diversos tipos de fluidos em tubos de vácuo, p. ex. amoníaco, álcool etílico, água, Dowtherm, etc., dependendo da temperatura pretendida.

- Nos geradores que utilizam um queimador como sistema de queima e que constituem a quase totalidade das caldeiras da amostra considerada, aqueles sistemas têm variadas proveniências, tendo sido identificadas 13 marcas diferentes de **queimadores**. Outro aspecto interessante é que estes sistemas, de um modo geral, são bem mais recentes do que os próprios geradores de vapor.

Nas caldeiras a fuelóleo predominam os queimadores de copo rotativo (71%), que têm a vantagem do seu funcionamento silencioso e de terem associado um fraco consumo de força motriz, além de que são insensíveis à sujidade do próprio combustível (dispensando filtros com malha muito apertada e sendo fáceis de limpar), permitem trabalhar com baixas pressões e temperaturas para obtenção de uma boa pulverização, o que se traduz em menor desgaste nas bombas de alimentação de combustível e em todos os acessórios em contacto com aquele, e portanto com menores custos no aquecimento do combustível, além de que possibilitam uma gama de regulação elevada e podem adaptar-se a qualquer tipo de caldeira. Nas caldeiras com combustível gasoso são os queimadores de alta pressão de tipo monobloco (de ar insuflado) e de chama de difusão centrada os que no seu conjunto têm mais expressão (56%). Também os queimadores de "dual fuel", permitindo a queima quer de combustível líquido, quer de gás, têm um peso importante (31%) nos geradores a gás natural.

- O tipo de **regulação automática** predominante nos sistemas de queima é o modulante ou progressivo, verificado em 79% dos geradores da amostra e que funciona segundo uma variação contínua da potência entre 2 limites extremos. O segundo tipo de maior expressão (17%) é o de dois estágios, que é quase exclusivo nas caldeiras a GPL, e que consiste em fazer funcionar a potência do queimador em dois limites correspondentes, um ao máximo medido de potência do gerador e o outro a um mínimo dessa potência. O modo "Tudo ou Nada", que faz funcionar os queimadores à potência máxima variando o tempo de funcionamento em função dos pedidos de calor da instalação (e em que a cada período de funcionamento se segue um período de paragem mais ou menos longo), só se observa em duas caldeiras a fuelóleo (3% da amostra). Em qualquer destes tipos, a regulação automática é assegurada pelo comando de válvulas e registos por acção de servo-motores mecânicos, hidráulicos, pneumáticos ou eléctricos, actuados por um detector de temperatura ou pressão.

- Quanto aos tipos de **bombas** existentes, no que se refere às necessárias para a alimentação de combustível líquido (fuelóleo) predominam as rotativas de carretos ou engrenagens exteriores, que são particularmente adequadas para a movimentação de fluidos com viscosidades elevadas e que se verificam em 82% das caldeiras, e nas de alimentação de água aos geradores são as centrífugas que se encontram em maior número, correspondendo a 90% da amostra. Em cerca de metade dos geradores de fuelóleo existe apenas uma bomba para alimentação do combustível, enquanto na outra metade se pode encontrar duas ou três, sendo mais frequente a situação de duas bombas. A potência média destas bombas de combustível é de 2 kW e o máximo valor de potência encontrado (apenas numa caldeira) é de 5,5 kW. Também no que se refere às bombas de água de alimentação dos geradores, na maioria dos geradores encontra-se duas bombas, com uma delas quase sempre em situação de reserva. O valor

médio de potência destas bombas varia entre os 2,5 kW nas caldeiras a GPL e os 18,7 kW nas caldeiras a fuelóleo, com os valores dos restantes tipos de geradores a situarem-se, respectivamente, em 4 kW na caldeira a estilha e em 9,8 kW nas caldeiras a gás natural.

- Os **ventiladores de ar de combustão** são todos do tipo centrífugo para a totalidade da amostra. Normalmente só existe um ventilador destes em cada caldeira, verificando-se que o valor médio de potência é de, respectivamente, 3,1 kW nas caldeiras a GPL, 4 kW na caldeira a estilha, 13,3 kW nas caldeiras a gás natural e 27,5 kW nas caldeiras a fuelóleo.

- Em duas caldeiras (3% da amostra) - na que utiliza estilha como combustível e numa outra que consome fuelóleo, foram encontrados **ventiladores de tiragem forçada dos gases de combustão,** um em cada gerador, no primeiro com uma potência de 30 kW e no segundo com uma potência de 75 kW.

- Na caldeira com combustível sólido, há ainda a contabilizar a potência do motor eléctrico do **sem-fim** da fornalha que é de 4 kW.

- De salientar também o **sobreaquecedor** associado à caldeira que produz vapor sobreaquecido. Neste tipo de equipamento, o vapor saturado é elevado a uma temperatura superior àquela a que foi produzido. Como já foi referido, o vapor sobreaquecido possui qualidades especiais que o tornam apropriado à produção de força motriz. Este tipo de equipamento é geralmente formado por tubos de aço, de pequeno diâmetro, que são colocados no percurso dos gases quentes. Como não tem no seu interior água, mas apenas vapor, e como se situa numa zona de fumos muito quentes, os tubos podem queimar-se se a circulação de vapor parar sem que a queima se suspenda ou durante o acendimento, em que a produção de vapor ainda não se iniciou, pelo que é primordial que a *regulação dos fogos* em geradores deste tipo se faça de modo a que a temperatura dos fumos na zona do sobreaquecedor não atinja um valor perigoso (cerca de 400 ºC).

- Foram identificadas ao todo 19 caldeiras com **economizador**, sendo que apenas 18 destes equipamentos estão em serviço, pelo que representam somente 29% da amostra de geradores considerada, e com a particularidade da sua maioria ter sido encontrada em caldeiras a gás natural (83%) e apenas três deles em duas caldeiras a fuelóleo (11%) e numa caldeira a GPL (6%).

De salientar que, na maioria dos casos, por cada 1º C de incremento na temperatura da água de alimentação do gerador, com este tipo de equipamento, corresponde uma queda de aproximadamente 4 ºC na temperatura dos fumos, e que a menor incidência deste tipo de equipamento nos dois últimos tipos de geradores referidos pode derivar de receios por parte dos industriais relativamente aos riscos de corrosão já mencionados a propósito dos geradores a fuelóleo e das reduzidas potências nominais no caso da maior parte dos geradores a GPL, quase todos eles de vaporização rápida.

A maioria dos permutadores de calor dos economizadores encontrados é de feixe tubular, em aço carbono e com uma configuração em contra-corrente. Da análise dos valores do Quadro 8, verifica-se

que este tipo de recuperação de calor dos gases de combustão para pré-aquecimento da água de alimentação é possível para diferentes potências nominais dos geradores, bem como para diferentes temperaturas da água de alimentação (isto é, com ou sem uma percentagem significativa de recuperação de condensados).

- Já no que concerne à recuperação de calor dos gases de combustão para pré-aquecer o ar de combustão, apenas foram encontrados dois **pré-aquecedores de ar** e apenas em geradores a fuelóleo, o que portanto corresponde a somente 3% da amostra de geradores analisada. Pelos valores de temperaturas envolvidas no economizador do gerador de maior potência nominal, constata-se que a regra de não se dever baixar a temperatura dos fumos para valores inferiores a 150 ºC parece não ser seguida, pelo que há com toda a certeza (e tal foi comprovado no diagnóstico) problemas de condensações ácidas neste equipamento. Os permutadores destes pré-aquecedores são também do tipo de feixe tubular, em aço carbono e com configuração em contra-corrente ou correntes cruzadas.

De salientar que a rentabilidade económica ligada à utilização destes permutadores (não só dos pré-aquecedores de ar, mas também dos economizadores) deve ser analisada com cuidado, dado que ela depende entre outros factores do nível de temperatura a que se encontram os gases da combustão, da potência do gerador e do seu regime de funcionamento. O pré-aquecimento do ar de combustão apresenta as seguintes duas vantagens principais: (i) por cada 20 ºC de elevação da temperatura do ar de combustão economiza-se cerca de 1% de fuelóleo; e, (ii) a entrada de ar quente melhora as condições de queima, o que permite por vezes trabalhar a mais baixos excessos[12] de ar o que contribui para o aumento do rendimento.

- No que se refere às **chaminés** dos geradores, verifica-se que a maioria (86%) é do tipo com saída dos fumos para cima, 97% são construídas em aço (e destas, 3% também em tijolo), 54% não tem qualquer tipo de isolamento térmico e de protecção exterior e apenas 39% têm esse revestimento com o isolamento maioritariamente em lã mineral ou lã de vidro e com protecção a chapa de alumínio, a tiragem em 97% dos geradores é do tipo natural e só apenas 3% apresentam tiragem forçada, e o regulador de tiragem quando existente, o que só acontece em 41% dos geradores, é sobretudo do tipo manual (88% dos casos).

- **Instrumentação e equipamento de controlo**

Em termos de principal instrumentação associada aos geradores analisados, verifica-se que:

- Todos dispõem de indicador de pressão do vapor.

---

[12] Se se fornecer, durante a combustão, a quantidade de ar correspondente a condições estequiométricas, a combustão será incompleta. Torna-se, por isso, necessário fornecer um excesso de ar, em relação à quantidade estequiométrica, para tornar rentável a combustão, do ponto de vista técnico-económico. De facto, à medida que se aumenta o caudal de ar (fixado o caudal do combustível), as perdas por combustão incompleta do combustível tornam-se menores (os produtos de combustão contêm menores teores de C e CO). Mas como, paralelamente, aumenta o caudal dos gases de combustão, principalmente devido ao azoto do ar, e esses gases saem a temperatura muito mais elevada do que a ambiente (da ordem de 300 a 400 ºC), as perdas por calor sensível transportado nos gases de combustão sobem quase proporcionalmente ao caudal de ar utilizado na combustão.

Naturalmente, o excesso de ar mais económico corresponde ao mínimo da soma das duas perdas indicadas (perdas por combustão incompleta e perdas por calor sensível nos gases de combustão). Estas perdas, bem como outras associadas ao cálculo da eficiência térmica da combustão, são determináveis a partir da composição dos gases de combustão, como se verá mais adiante neste Relatório. O excesso de ar de combustão óptimo depende do tipo de combustível utilizado e tipicamente situa-se em geral, nas gamas indicadas a seguir: (i) Para combustíveis sólidos: 15-60%; (ii) Para combustíveis líquidos, como o fuelóleo: 15-25%; e, (iii) Para combustíveis gasosos, como o gás natural e os GPL: 5-15%.

- Apenas 90,5% da amostra dispõe de indicador de nível da água. Os 6 geradores que não têm este indicador, três a GPL e três a gás natural, são todos do tipo de vaporização rápida e de baixa capacidade de produção de vapor, variável entre um valor mínimo de 0,25 t/h e um máximo de 1,5 t/h; este tipo de geradores é considerado de "nível indefinido", já que não têm água acumulada (esta é doseada por bombas geralmente de pistão) e só entra a água que vai ser vaporizada mais o excesso para purga pela "boca" no separador ou colector, pelo que neste caso não é possível a colocação de visor de nível.
- Somente 32 das 63 caldeiras analisadas, ou seja 50,8% da amostra, dispõe de contador para a água de alimentação. Os contadores existentes, que tanto podem estar instalados antes das bombas ou depois destas, são maioritariamente do tipo *mecânico de turbina* (72%), havendo também de outros tipos tais como os *electromagnéticos* (16%) e os de *vortex* (6%).
- Todavia há uma percentagem maior (71,4%) de geradores com contador de água de compensação ("make-up"), constatando-se que 87,5% destes contadores estão associados a caldeiras que também têm contadores de água de alimentação.
- Apenas 10 caldeiras (16%) dispõem de indicador da condutividade e/ou do teor de sólidos dissolvidos da água de alimentação, instrumentação esta importante para avaliação da qualidade da água que alimenta os geradores e obviamente sobre a adequação ou não do tratamento daquela. E no que respeita à água de compensação apenas 9,5% da amostra tem um indicador semelhante. Também no que concerne aos condensados que retornam às centrais de caldeiras e concretamente aos respectivos tanques, apenas em 81% da amostra se verifica a existência de um indicador de nível nesses tanques e somente em 67% de um indicador de temperatura.
- Apenas 18 caldeiras (cerca de 29% da amostra) têm contador de vapor. Os tipos mais comuns de contador de vapor são, respectivamente, o *vortex* (39%) e o *orifício calibrado* (33%), ainda que se encontrem também outros tipos diferentes tais como os de *área variável*.
- Apenas 2/3 da amostra dispõe de contador de combustível (totalizador), e somente em 19% dos geradores é possível também a obtenção de leituras instantâneas. De realçar que 88% dos geradores a fuelóleo têm contador de combustível.
- Outros indicadores existentes e relacionados com o equipamento de queima verificam-se para a pressão e temperatura do combustível (em 87% da amostra e 24% da amostra / 88% do lote de geradores a fuelóleo, respectivamente). Já nos depósitos de armazenagem de fuelóleo, em 76% dos mesmos há um indicador de temperatura e em 88% também um indicador de nível.
- Somente 39 geradores (62% da amostra) apresentam indicador de temperatura dos fumos na chaminé (importante para a verificação do estado das superfícies de permuta de calor desses geradores), e destes apenas 4 (6,4% da amostra) incluem também um indicador do teor de oxigénio dos fumos nas respectivas chaminés. Não foi encontrada qualquer caldeira com indicador do teor

de CO_2 ou de CO ou do índice de opacidade nos fumos, que tal como o indicador de O_2 são particularmente importantes para o controlo da combustão dos geradores.

- Os 2 pré-aquecedores de ar de combustão encontrados têm indicadores de temperatura de qualquer dos fluidos envolvidos (ar e gases de combustão), na entrada e na saída. Já nos 18 economizadores existentes tais indicadores de temperatura para os fluidos envolvidos aparecem nas seguintes proporções: água à entrada - 78%; água à saída - 89%; fumos à entrada - 89%; fumos à saída - 94%.
- Apenas cerca de 40% dos geradores de vapor têm contador do número de horas de funcionamento.

É o registo periódico de muitos parâmetros a partir de instrumentação como a referida, tais como caudais de água e de combustível, pressão e temperatura do combustível e valores característicos do tratamento de águas, entre outros, que permite conhecer o estado geral dum gerador de vapor e consequentemente actuar de modo a optimizar o seu funcionamento e a programar as operações de manutenção. Logo, um pré-requisito para uma operação eficiente de qualquer gerador de vapor é a existência de uma adequada instrumentação para monitorização e controlo daquela. Em geral, caldeiras de maior dimensão/ capacidade requerem instrumentação mais sofisticada do que a necessária em pequenas caldeiras.

Deve ser também realçada a importância da realização de inspecções periódicas em todos os instrumentos para confirmar se estes se conservam fiáveis. Em particular, as condições de calibração de cada medidor devem ser comparadas com as condições reais de funcionamento, já que, por exemplo, se um determinado medidor de caudal de vapor foi calibrado para 7 bar e o vapor é produzido à pressão de 6,5 bar, então o medidor fará uma leitura por excesso de aproximadamente 3%, devido à alteração da densidade do vapor. Sempre que possível, deverão ser utilizados instrumentos portáteis para verificar os instrumentos permanentes, particularmente os analisadores de O_2, CO_2 e CO e o medidor de temperatura dos gases de combustão, e nestes diagnósticos realizados constatou-se que nem todas as empresas dispõem deste tipo de instrumentos.

É igualmente de assinalar o facto de que a regulação do excesso de ar de combustão nos geradores de vapor encontrados é feita maioritariamente (84%) de forma manual.

2.1.2. Condições de operação e manutenção dos geradores, incluindo desempenho energético

A desagregação do número de geradores de vapor analisados em função dos respectivos períodos de funcionamento anual é a seguinte:

Nº de geradores com menos de 3000 horas/ano:	11 (17%)
Nº de geradores com 3000-5840 horas/ano:	35 (56%)
Nº de geradores com 5841-8760 horas/ano:	17 (27%)

Constata-se que mais de metade dos geradores trabalha durante mais de 3000 horas/ano e até um

máximo de cerca de 5800 horas/ano. A média de horas de operação anual para a totalidade da amostra é de 4723 horas/ano por gerador. De salientar que em muitas das empresas com dois ou mais geradores, o funcionamento destes é alternado.

Os 63 geradores de vapor analisados têm, no seu conjunto, uma factura energética anual associada da ordem de **27 857 950 Euros**, correspondente a um consumo de energia final de cerca de **3 289 TJ**[13]/ano, equivalente a um consumo anual de energia primária de **78 680 tep** (toneladas equivalentes de petróleo).

Verifica-se de um modo quase geral que o registo atrás aludido de diversos parâmetros caracterizadores da operação dos geradores de vapor nem sempre é efectuado na extensão e com a periodicidade desejáveis, nem é feito o cruzamento da informação diversa recolhida com o fim de avaliar a eficiência (em particular da combustão) e verificar a sua evolução, pelo que obviamente o funcionamento e a programação das operações de manutenção na maioria dos geradores da amostra estão longe da optimização. Aliás, os rendimentos determinados a partir da análise dos gases de combustão e que se apresentam mais adiante, baixos de um modo geral (sendo poucas as caldeiras em que se pode dizer que a combustão está optimizada), são bem prova disso. O que nem parece surpreendente, dado que em vários dos geradores a análise da combustão e regulação / afinação dos queimadores só são efectuadas numa base trimestral ou até em períodos mais longos (base semestral ou anual).

O **Quadro 10** sintetiza os tipos de controlo e de manutenção preventiva nas caldeiras analisadas.

Quadro 10 – Tipos de controlo de operação e de manutenção preventiva dos geradores de vapor

OPERAÇÃO DOS GERADORES		MANUTENÇÃO DOS GERADORES	
Tipo de controlo	**% de Geradores que verifica**	**Tipo de manutenção preventiva**	**% de Geradores que verifica**
Não existe um controlo regular, nem há registos.	11%	Não existe / Apenas manutenção correctiva	17%
Há um controlo regular (diário) da operação da(s) caldeira(s), nomeadamente de alarmes e avarias, e assistência do operador em permanência. Com eventual realização de testes diários de segurança e elaboração de registos de diversos parâmetros (níveis, pressões, consumos de energia e de água, tratamento de águas, purgas, anomalias/ avarias, intervenções e manutenções, etc.), mas que de um modo geral não são cruzados de forma a serem obtidos valores de eficiência relevantes. Frequente a ausência de registos de operações de verificação dos sistemas de segurança.	68%*	Período fixo – base anual (tipicamente com todas ou parte das seguintes acções: abertura dos geradores para inspecção do interior e limpeza de tubulares, reparação de refractários e de fugas, reparação de juntas de porta de homem, inspecção dos principais órgãos de segurança e afinações dos queimadores)	32%**
		Períodos fixos – base semestral (tipicamente com verificação do estado dos refractários e dos órgãos de controlo e segurança e limpeza dos tubulares)	6%
Há um controlo regular (diário ou noutra base) do funcionamento da(s) caldeira(s), mas não é efectuado qualquer registo.	17%	Períodos fixos – base trimestral (com todas ou parte das seguintes acções: revisão geral / inspecção do interior dos geradores, reparação de fugas (juntas),limpeza de tubulares, provas de segurança e testes de combustão com analisador portátil)	13%
Não inteiramente esclarecido.	3%	Períodos fixos – base mensal (tipicamente com limpeza da câmara de combustão e dos tubulares)	3%
		FREQUENTE – base semanal, além da revisão geral anual (tipicamente com todas ou parte das seguintes acções: verificação do estado de conservação e funcionamento dos geradores e de outros equipamentos das centrais, limpeza de filtros, ajuste de purgas, provas de segurança, controle da qualidade da água)	29%

NOTAS: * Um gerador tem um sistema integrado de supervisão; ** Num destes 20 geradores também se faz afinação dos queimadores de 2 em 2 meses.

[13] 1 TJ (tera-Joule) = 10^{12} J (Joules) ou 1000 GJ (giga-Joules)

Relativamente à última vertente, verifica-se que ainda há uma percentagem considerável de geradores (cerca de metade da amostra) em que não há qualquer tipo de manutenção preventiva (apenas existe manutenção correctiva aquando da ocorrência de anomalias / avarias), ou existindo, é apenas efectuada uma vez por ano, o que parece ser insuficiente para uma boa condução da operação desses geradores.

Um exemplo que pode ser referido ilustrando a importância de uma maior frequência das operações de manutenção é o que se prende com as superfícies de permuta de calor entre os gases de combustão e a água, que devem encontrar-se o mais possível isentas de depósitos, sobretudo calcários e fuligem (mais provável de acontecer com combustíveis não gasosos). Para se atingir este objectivo devem ser tidos em consideração os seguintes aspectos relativos quer à condução quer à manutenção:

- Quanto à câmara de combustão deve-se procurar regular a combustão no sentido de evitar a formação de fuligem que se deposita dificultando a transferência de calor. Estas superfícies devem ser periodicamente limpas de fuligens.
- Quanto à água deve evitar-se os depósitos calcários através dum adequado tratamento de águas. Estas superfícies devem igualmente ser periodicamente limpas dos depósitos calcários. E é ainda de referir a necessidade (e importância) de efectuar purgas (de superfície e de fundo) ao gerador, a fim de dispor de água em condições apropriadas.

A temperatura dos gases de combustão é em geral de algumas dezenas de ºC mais elevada do que a temperatura do fluido quente produzido (neste caso vapor), e não deve nunca ultrapassar mais de 40-50ºC a temperatura do vapor (e se tal acontecer, tal subida muito provavelmente terá sido provocada pela existência de sujidade nas superfícies de aquecimento da caldeira, o que se repercute de imediato num aumento desnecessário do consumo de combustível). Em geral os fumos apresentam valores entre 200 e 250ºC, dependendo da pressão de funcionamento e da potência de queima, e é pelo facto atrás referido que é importante a existência dum indicador de temperatura na chaminé da caldeira, que permita o acompanhamento da evolução da temperatura dos gases de combustão e consequentemente a verificação do estado das superfícies de permuta de calor. Assim, as caldeiras deverão ser sujeitas a limpeza de acordo com o aumento da temperatura dos gases de combustão e não com base em períodos de tempo fixados, e se o tipo de manutenção existente apenas faz limpeza de tubulares uma vez por ano é muito provavelmente insuficiente.

Deverá também ter-se presente que a limpeza das superfícies de transferência de calor das caldeiras é essencial para a obtenção de eficiências térmicas óptimas. Todavia, se as limpezas são muito frequentes, poderá implicar situações pouco económicas, dado o elevado custo de limpeza e, se são pouco frequentes, poderá traduzir-se em eficiências térmicas baixas. Daí a importância de se ter instalado um indicador de temperatura dos gases de combustão à saída da caldeira, com o objectivo de manter eficiente a transferência de calor, e de a tal limpeza ser determinada pela regra atrás aludida do limite de 40-50ºC a mais comparativamente à temperatura do vapor ter sido ultrapassado.

De salientar que, para qualquer estado de limpeza das caldeiras, a temperatura dos gases de combustão aumenta com a diminuição do teor de CO_2 naqueles gases (e este é determinado pelo excesso de ar de combustão com que se está a operar a caldeira, que pode ser adequado ou não para o tipo de combustível que utiliza). Daí que seja importante, pelo menos uma vez por semana, colocar o sistema de queima à capacidade máxima e com o valor óptimo de CO_2 (ou O_2), observar a temperatura dos gases.

Refira-se igualmente a título de curiosidade que, temperaturas dos gases excepcionalmente elevadas poderão também ser provocadas por queima de combustível em excesso, em relação à produção de calor do gerador.

De seguida é apresentada uma síntese da situação de alguns aspectos que consideramos relevantes para a operação dos geradores de vapor e que influenciam os seus consumos de energia. Estes aspectos prendem-se com a armazenagem e distribuição de combustível líquido (fuelóleo)[14], o tratamento de água e a eficiência térmica dos geradores (determinada pelo método das perdas, a partir da análise dos gases de combustão). Antes da sua apresentação, é de salientar os valores médios de Poder Calorífico Inferior e de custo unitário encontrados para os diversos tipos de combustível integrantes da amostra de geradores de vapor analisada:

Quadro 11 – PCI's e Custos Unitários dos vários combustíveis

Combustível	**Poder Calorífico Inferior (PCI)** (média)	**Custo unitário** (média)	
Gás natural	37,81 MJ/Nm^3 ou 44,99 GJ/t [15]	0,339 EUR/Nm^3 ou 0,404 EUR/kg	8,98 EUR/GJ
Fuelóleo	40,54 GJ/t	0,305 EUR/kg	7,52 EUR/GJ
GPL (Propano)	46,45 GJ/t	0,923 EUR/kg	19,88 EUR/GJ
GPL (Butano)	46,93 GJ/t	1,130 EUR/kg	24,08 EUR/GJ
Estilha	15,06 GJ/t	0,055 EUR/kg	3,65 EUR/GJ

a) Armazenagem e distribuição de fuelóleo

- Constata-se que em relação aos geradores que utilizam fuelóleo como combustível, no que respeita à armazenagem deste nos respectivos tanques, o seu aquecimento é feito exclusivamente por serpentinas de vapor (em 62,5% dos casos), ou então por vapor e resistências eléctricas (em 37,5% dos casos), e estas percentagens poderão igualmente verificar-se no aquecimento das tubagens de distribuição até aos geradores de vapor.

[14] No que concerne aos outros combustíveis da amostra, o abastecimento de gás natural é por gasoduto e a armazenagem de GPL é feita em tanques apropriados, pelo que não há consumos energéticos relevantes associados à sua alimentação aos geradores de vapor. Já no que respeita à caldeira a combustível sólido (estilha), o eventual tratamento prévio deste e em particular o seu teor de humidade aquando da alimentação ao gerador de vapor são igualmente importantes e têm reflexos no consumo de energia do gerador, mas no diagnóstico realizado nessa instalação não foram obtidos pormenores sobre estes aspectos, razão pela qual não são comentados neste Relatório.

[15] Com o Nm^3 a significar metro cúbico de gás natural em condições normais (temperatura de 0ºC e pressão de 1,01325 bar abs.). Na conversão de consumos volumétricos para consumos mássicos deste combustível utilizou-se a massa específica de 0,8404 kg/Nm^3.

- No que concerne à temperatura de armazenagem do fuelóleo nesses tanques, e não sendo boa prática manter este tipo de combustível a temperaturas desnecessariamente elevadas, verifica-se contudo que apenas em 25% dos casos aquela temperatura é considerada adequada, não ultrapassando os 50 ºC. Em cerca de 69% dos casos verificam-se nesses tanques temperaturas de armazenagem entre 50 e 80 ºC, que tipicamente correspondem às temperaturas necessárias para bombagem na distribuição aos geradores, e em 6% dos casos encontramos temperaturas ainda superiores (80-95 ºC). No entanto é mais lógico que em vez de manter permanentemente o combustível a estas temperaturas nos tanques, haja aquecedores à saída dos mesmos para assegurar a temperatura necessária à distribuição, devendo a temperatura de armazenagem do fuelóleo ser apenas a suficiente para que aquele possa fluir até ao permutador. Temperaturas de armazenagem demasiado elevadas, como nos casos referidos, dão origem a maiores perdas de calor através das superfícies exteriores dos tanques (com os consequentes consumos desnecessários de combustível nos geradores de vapor), mesmo dispondo de isolamento térmico.

- Os valores médios de temperaturas verificadas na bombagem e na atomização deste combustível são, respectivamente, 75,8 ºC e 88,6 ºC, que já nos parecem adequados para os fins previstos.

- Contudo é de salientar que apenas em cerca de 54% das instalações, que utilizam fuelóleo nos seus geradores de vapor, é indicado pelo fornecedor desse combustível o valor da respectiva viscosidade, e que apenas em 15% destas instalações a temperatura de atomização (já no queimador da caldeira) é corrigida em função dessa informação. Donde se poderá inferir que muito provavelmente em muitas situações nem sempre são obtidas as viscosidades apropriadas por um adequado aquecimento do fuelóleo, por força do desconhecimento desta informação, com as naturais consequências em termos de uma queima deficiente do combustível e eventuais entupimentos e avarias dos queimadores, com repercussões no desempenho energético dos geradores. A isto acrescem algumas dificuldades no controlo da temperatura de alimentação de combustível aos queimadores nos regimes máximo e mínimo, por normalmente ser frequente um grande diferencial dessas temperaturas por limitações ou deficiências nos respectivos sistemas de controlo que afectam por vezes de forma grave a viscosidade.

- Em termos de isolamento térmico dos tanques de armazenagem e das próprias linhas de distribuição de fuelóleo, pode-se dizer que uma percentagem significativa de instalações (cerca de 80%) apresenta estes equipamentos bem isolados, mas ainda assim existindo aproximadamente 20% de instalações em que tal isolamento não existe ou que está em mau estado de conservação, significando isso perdas energéticas desnecessárias com os consequentes acréscimos de consumo de combustível nos geradores de vapor.

b) Tratamento de água

Um bom funcionamento de uma qualquer caldeira deverá ser consistente com três objectivos:

- Maximização da eficiência da transferência de calor do combustível para o fluido a aquecer;
- Produção de vapor seco com um mínimo de impurezas (isto é, uma boa separação das fases de vapor e de água líquida dentro da caldeira);
- Manutenção da integridade mecânica da caldeira e do sistema de distribuição de vapor (isto é, evitando fenómenos de corrosão, incrustações e fadiga mecânica).

A qualidade da água de alimentação de um gerador de vapor tem um efeito preponderante em se conseguir atingir ou não estes objectivos, pelo que um bom tratamento de água é essencial para uma operação segura e eficiente de um sistema de vapor. O objectivo de uma qualquer central de caldeiras é produzir vapor que não provoque corrosão ou depósitos de sais (incrustações) em sobreaquecedores, turbinas e em equipamento do processo. Tais fenómenos de corrosão podem dever-se à presença de dióxido de carbono e oxigénio no vapor ou de sais minerais por força de um arrastamento de partículas da água da(s) caldeira(s), podendo estes últimos inclusive aparecer nos condensados de purgadores e em equipamento de processo, dando origem a incrustações.

A experiência mostra que o arrastamento de água da caldeira é geralmente promovido por circunstâncias como níveis elevados da água no interior da caldeira, alterações súbitas nos pedidos de vapor, fugas de vapor, presença de óleo, etc., ocorrendo em conjunto ou independentemente. A influência dos sólidos dissolvidos na água da caldeira é largamente conhecida, sabendo-se que para qualquer estado estacionário das condições de operação de um gerador de vapor o arrastamento de partículas da água da caldeira aumenta rapidamente quando a concentração dos sólidos dissolvidos naquela excede determinados valores.

As impurezas que se podem encontrar na água de uma caldeira dependem da qualidade da água bruta, do processo de tratamento utilizado e da condução da operação da caldeira.

O **Quadro 12** resume os vários tipos de impurezas que podem ser encontrados e os problemas que podem causar. Estes derivam essencialmente de gases dissolvidos, sais que originam dureza, sais que não originam dureza, matéria em suspensão, sílica, colóides e sais de ferro, entre outras impurezas, e podem ser basicamente de três tipos – incrustações, corrosão e fermentação. Como regra geral, quanto maior é a pressão de serviço da caldeira, maior será a sensibilidade do gerador a impurezas.

O **Quadro 13** apresenta, a título meramente indicativo, alguns dos valores típicos recomendados para a qualidade da água de caldeiras de tubos de fumo (com pressões de serviço até 25 bar) e de caldeiras de tubos de água. De salientar que os valores recomendados são para a água de alimentação e para a

água no interior da caldeira. Em última análise, a qualidade da água deve obedecer às especificações do fabricante da caldeira, além de que existe uma Norma Portuguesa (NP 4079, de 1993) que regula o tratamento de água para caldeiras e geradores de vapor.

Quadro 12 – Algumas impurezas que se podem encontrar na água de alimentação de caldeiras e que podem ser causadoras de problemas na central térmica

Substância causadora de problema na central térmica	**Forma física da substância na instalação**	**Fonte da substância relacionada com impureza na água de alimentação**	Problemas principais em					
			Sistema de alimentação	**Economizador**	**Caldeira**	**Sobreaquecedor**	**Turbina**	**Sistema de condensados**
(1) Carbonato de cálcio	Lama, lodo Incrustações	Dureza do cálcio Dureza do cálcio	 X	 X	X X			
(2) Sulfato de cálcio	Incrustações	Dureza do cálcio			X			
(3) Silicato de cálcio	Incrustações	Dureza do cálcio e sílica			X			
(4) Complexo de fosfatos de cálcio	Lama, lodo Incrustações	Dureza do cálcio Dureza do cálcio	 X	 X	X X			
(5) Hidróxido de magnésio	Lama, lodo	Dureza do magnésio			X			
(6) Silicato de magnésio	Lama, lodo	Dureza do magnésio e sílica	X	X	X			
(7) Cloretos ácidos	Solução	Cloretos			X			
(8) Óxidos de ferro	Lama/lodo ou incrustações	Produtos de corrosão no sistema. Ferro solúvel ou insolúvel na água de alimentação			X			
(9) Silicato de ferro e sódio	Incrustações	Ferro e sílica			X			
(10) Óxido ou hidróxido de alumínio	Lama/lodo ou incrustações	Alumínio na água bruta, na água tratada e nos condensados			X			
(11) Silicato de sódio e alumínio	Incrustações	Alumínio e sílica			X			
(12) Sílica	Incrustações	Sílica			X		X	
(13) Óleo	Lama/lodo oleoso e com espuma	Contaminação			X	X	X	
(14) Cobre e óxidos de cobre	Metal e óxidos	Corrosão nos condensados ou no sistema de alimentação			X			
(15) Oxigénio	Produtos de corrosão	Oxigénio dissolvido ou arrastado pela água de alimentação	X	X	X	X		X
(16) Dióxido de carbono	Produtos de corrosão	CO_2 livre e decomposição de carbonatos e bicarbonatos	X	X				X
(17) Amoníaco	Produtos de corrosão de cobre	Água de “make-up” e retorno de condensados	X					X
(18) Matéria orgânica natural	Depósito ou solução	Ácidos húmicos e fúlvicos e produtos derivados na água de “make-up”			X			
(19) Surfactantes	Solução	Detergentes sintéticos na água bruta, na água de alimentação ou nos condensados			X	X	X	
(20) Hidróxido de sódio (soda cáustica)	Solução	Hidróxido de sódio, carbonato de sódio e bicarbonato de sódio			X	X	X	
(21) Sólidos dissolvidos	Solução	Acumulação de todas as substâncias solúveis			X	X	X	
(22) Sólidos em suspensão	Sólidos em suspensão Lama depositada	Substâncias insolúveis já presentes ou substâncias insolúveis formadas por acção química	 X	 X	X X	X	X	

Quadro 13 – Valores recomendados para os vários parâmetros definidores da qualidade da água de caldeiras

CARACTERÍSTICAS RECOMENDADAS PARA A ÁGUA DE CALDEIRAS DE TUBOS DE FUMO COM PRESSÕES ATÉ 25 bar		
Água de alimentação		
Dureza total (mg/l $CaCO_3$)	2 - 40	OBS.: Caldeiras com maior capacidade de produção necessitarão de água com uma dureza próxima do limite inferior deste intervalo.
Oxigénio		OBS.: Sem limite fixo mas recomendável a sua remoção (por desgasificação) até ao máximo possível antes da adição de produtos químicos como sulfito de sódio ou hidrazina.
Sólidos totais, alcalinidade, sílica		OBS.: Valores que devem ser consistentes com as especificações da água da caldeira e a % de purgas recomendadas pelo fabricante.
pH	7,5 – 9,5	
Água da caldeira		
Dureza total (mg/l $CaCO_3$)	Não detectável	
Fosfato de sódio (mg/l Na_3PO_4)	50 - 100	
Alcalinidade cáustica (mg/l $CaCO_3$ mín.) [16]	350 - 200	
Alcalinidade total (mg/l $CaCO_3$ máx.) [16]	1200 - 700	
Sílica (mg/l SiO_2 máx.)	< 0,4 x alcalin. cáust.	
Sulfito de sódio (mg/l Na_2SO_3) ou hidrazina (mg/l N_2H_4)	30 – 70 0,1 – 1,0	
Sólidos em suspensão (mg/l máx.)	50 - 300	
Sólidos dissolvidos (mg/l máx.)	3500 - 2000	

CARACTERÍSTICAS RECOMENDADAS PARA A ÁGUA DE CALDEIRAS DE TUBOS DE ÁGUA			
Pressão de serviço da caldeira (bar)	**20**	**60**	**120**
Água de alimentação à entrada do economizador			
Dureza total (mg/l $CaCO_3$ máx.)	10	0,5	ND
pH	8,5 – 9,5	8,5 – 9,5	8,5 – 9,5
Oxigénio (mg/l máx.)	0,05	0,01	0,005
Ferro + Cobre + Níquel (mg/l máx.)	-	0,02	0,01
Sólidos totais, alcalinidade e sílica (mg/l máx.)	consistente com % de purgas		
Óleo (mg/l máx.)	ND	ND	ND
Água da caldeira			
Fosfato de sódio (mg/l Na_3PO_4)	50 - 100	20 - 50	3 - 10
Alcalinidade cáustica (mg/l $CaCO_3$ mín.)	300	60	5
Alcalinidade total (mg/l $CaCO_3$ máx.)	700	300	40
Sílica (mg/l SiO_2 máx.)	< 0,4 x alcalin. cáust.	20	2
Sulfito de sódio (mg/l Na_2SO_3) ou hidrazina (1) (mg/l N_2H_4)	30 – 50 0,1 – 1,0	15 – 30 0,05 – 0,3	Nenhum -
Sólidos em suspensão (2) (mg/l máx.)	200	minimizar	minimizar
Sólidos dissolvidos (mg/l máx.)	3000	1200	100
Cloretos (mg/l Cl^- máx.)	-	-	5

NOTAS: (1) A hidrazina decompõe-se em caldeiras a 120 bar: não se pode medir o teor residual, pelo que deve ser fixado com base no teor de O_2 da água de alimentação;
(2) Em caldeiras que funcionam acima dos 40 bar, o teor de sólidos em suspensão deve ser minimizado para valores inferiores a 200 mg/l.

Resumindo, a qualidade da água é de importância fundamental na exploração de uma central de vapor, depende da pressão e da taxa de vaporização do(s) gerador(es) de calor e deve ser controlada periodicamente e mantida dentro dos parâmetros exigidos, por via de um tratamento eficaz. A escolha do processo de tratamento de uma água de alimentação de uma determinada central térmica depende não

[16] A alcalinidade de uma água é uma medida da sua capacidade de neutralização de ácidos. É devida principalmente à presença de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. Na prática, a determinação da alcalinidade das águas pode ser feita por titulação com uma solução ácida, usando fenolftaleína e alaranjado de metilo (*metilorange*) como indicadores. Os resultados da titulação com o alaranjado de metilo são referidos como "alcalinidade ao alaranjado de metilo" e representam a alcalinidade total; os resultados da titulação com a fenolftaleína são referidos como "alcalinidade à fenolftaleína".

Para se compreender o que representa cada uma destas alcalinidades, convém referir que o indicador fenolftaleína "vira" a pH=8,3 (passa de incolor a róseo, quando o pH sobe acima daquele valor) e que o indicador alaranjado de metilo "vira" a pH=4,4 (passa de alaranjado a vermelho).

As soluções diluídas de bicarbonatos apresentam valores de pH de aproximadamente 8; os carbonatos e os hidróxidos produzem pH superior a 8; e, a existência de CO_2 livre ou de ácidos minerais faz baixar o pH, provocando estes últimos valores de pH inferiores a 4. Com base nas considerações anteriores é possível caracterizar o tipo de alcalinidade de uma água, consoante o domínio de pH em que ela se encontra. Por exemplo, quando a alcalinidade à fenolftaleína for igual à alcalinidade ao alaranjado de metilo (alcalinidade total) só existe alcalinidade de hidróxidos, quando a alcalinidade é devida apenas aos carbonatos a alcalinidade à fenolftaleína é metade da alcalinidade total, e, quando só existem bicarbonatos a alcalinidade à fenolftaleína é nula. A alcalinidade à fenolftaleína também é designada de alcalinidade cáustica, particularmente para valores de pH acima de 9,4 (devido à presença de hidróxidos e carbonatos).

só da natureza da água bruta disponível, mas também do tipo de caldeira onde é utilizada. Nenhuma caldeira deve funcionar sem ser com água tratada, e do tipo de tratamento empregue assim depende o desempenho e a eficiência do gerador em questão, bem como o seu tempo de vida útil.

Pode acontecer que para pequenas caldeiras, de baixa pressão e com reduzidas taxas de vaporização, muitas das vezes com uma operação intermitente e, portanto, menos sujeitas a corrosões e incrustações e praticamente indiferentes a fenómenos de fermentação, apenas seja necessário uma simples adição de um desincrustante para assegurar uma operação satisfatória com um mínimo de custos. Mas na maioria dos geradores de vapor terá que haver um tratamento adequado da água de alimentação, que não passa por uma solução tão simples como aquela, havendo técnicas mais ou menos sofisticadas para esse efeito. Para cada caso particular é necessário escolher o melhor método, tendo em consideração factores tão diversos como o tipo de caldeira, a sua taxa de vaporização, a qualidade da água bruta, o fim a que se destina o vapor e a percentagem de condensados recuperados.

Este tratamento adequado da água dos geradores de vapor significa também prevenir a ocorrência de acidentes neste tipo de equipamentos, e como se viu, os requisitos exigidos à água de alimentação e à água dentro da caldeira vão aumentando à medida que a pressão de serviço aumenta. Os fabricantes de caldeiras e até mesmo os códigos de construção utilizados indicam quais as características a que deve obedecer a água, de modo a evitarem-se problemas e avarias na condução dos geradores.

A qualidade da água de uma caldeira de vapor pode ser controlada por várias vias, que passamos a resumir de seguida. Os problemas do tipo dos que já foram mencionados atrás, derivados de fenómenos de incrustações, corrosão e fermentação, podem ser evitados, quer eliminando por métodos físicos ou químicos ou físico-químicos as substâncias nocivas contidas na água bruta, no chamado **tratamento prévio ou tratamento externo da água**, quer introduzindo nas caldeiras substâncias capazes de a tornar inofensiva, pelo chamado **tratamento interno**.

(i) Tratamento externo

Os objectivos deste tipo de tratamento são, basicamente, os seguintes:

- Reduzir ou eliminar a dureza (derivada essencialmente da concentração total de iões de Ca e Mg dos sais dissolvidos na água), para evitar a formação de incrustações ou depósitos sobre as superfícies de aquecimento, que são prejudiciais à transmissão de calor dessas superfícies para a água do gerador e que podem conduzir ao sobreaquecimento daquelas e assim originar deformação ou rotura.
- Reduzir ou eliminar a sílica em soluções com os mesmos fins do item anterior.
- Reduzir o teor de salinidade ou até mesmo eliminá-lo, para obviar a que a sua concentração na superfície de vaporização dê lugar a fermentações que prejudicam a vaporização e que podem ser arrastadas para a rede de distribuição de vapor e para os equipamentos utilizadores desse fluido.

- Eliminar gases dissolvidos, especialmente CO_2 e O_2, que provocam corrosões nas superfícies internas.
- Conferir à água de alimentação uma alcalinidade que permita evitar a corrosão interna.

Existem vários tratamentos correctivos para estes problemas, desde a utilização de antiespumantes orgânicos para obviar fenómenos de fermentação, condicionadores de lamas, fosfatos alcalinos e tratamento da alcalinidade para se evitar incrustações, até ao recurso a fosfatos alcalinos com correcção de alcalinidade e outros produtos químicos absorvedores de oxigénio e inibidores de corrosão para condensados, para contrariar as corrosões. Estes tratamentos, tendentes sobretudo a reduzir a dureza, os teores de total de sólidos dissolvidos (TSD) e de sílica na água de alimentação, a corrigir a alcalinidade, a remover matéria em suspensão e a eliminar o oxigénio e dióxido de carbono, estão interligados à finalidade e importância das instalações, podendo assim ser mais ou menos eficientes e inclusive passar por um processo de desmineralização total.

Basicamente os processos ou técnicas de tratamento externo podem agrupar-se em:

- Precipitação química: em que são adicionados produtos químicos (tais como cal apagada, cal viva, carbonato de sódio, aluminato de sódio, hidróxido de sódio ou fosfato trissódico) que levam à precipitação do cálcio e do magnésio como compostos de baixa solubilidade. Os precipitados são pulvurulentos, não aderentes e facilmente evacuáveis nas purgas.
- Permuta iónica: é o processo mais utilizado e mais corrente, no qual é feito um “amaciamento” da água, por recurso a descalcificadores. Aqui a água dura é obrigada a atravessar um leito de resinas catiónicas[17], efectuando-se uma neutralização da dureza da água (sem formação de precipitado), com a subsequente regeneração periódica destas resinas, através de uma lavagem com água salgada. Tem a vantagem de possibilitar a remoção quase completa da dureza, além da simplicidade da sua operação. Apresenta o inconveniente de exigir uma água com pouca matéria em suspensão e de não reduzir nem a alcalinidade nem o teor de sólidos dissolvidos, além de que também não reduz o teor de sílica. Em casos especiais poderá recorrer-se a uma desmineralização completa da água, por exemplo para a eliminação da sílica, utilizando-se colunas em série de resinas aniónicas e catiónicas. Se a matéria em suspensão na água bruta for muito elevada, ter-se-á que proceder a uma floculação (caso do teor em Fe ser elevado) ou a uma sedimentação e filtragem, antes de se proceder à descalcificação ou desmineralização.
- Processos mistos: tratamento em duas fases, por precipitação química e por permuta iónica, conduzindo à eliminação quase completa da dureza, sendo possíveis de atingir valores não superiores a 2 mg/l de $CaCO_3$.

[17] Recorre-se normalmente a um leito de resinas sintéticas ou zeólitos naturais. O tipo mais simples é o que se baseia na chamada permuta iónica no ciclo do sódio, no qual os iões cálcio e magnésio são permutados/trocados por iões de sódio. Após saturação, a sua regeneração é feita com cloreto de sódio. De salientar que sendo solúveis os sais de sódio, não originam incrustações na caldeira, e que o descalcificador apenas substitui o cálcio e o magnésio por sódio, pelo que não reduz o teor de TDS e por conseguinte também não reduz a quantidade de purgas necessárias.

- Remoção de sílica: as formas mais comuns de remover a sílica presente na água são o tratamento por magnésia (hidróxido de magnésio) e a desmineralização por permuta iónica, com resinas aniónicas fortemente básicas. Normalmente só se torna necessário este tratamento quando o teor de sílica está acima de 25 a 30 ml/l, ou quando as caldeiras operam a pressões superiores a 50 bar.

- Desmineralização e outras técnicas: resumidamente, a desmineralização por permuta iónica consiste em remover os catiões por meio duma resina catiónica e os aniões por meio de uma resina aniónica. Estas últimas podem considerar-se divididas em dois grandes grupos: fraca ou medianamente básicas e fortemente básicas, com as primeiras a serem apenas adequadas para remoção de ácidos fortes (do tipo ácido sulfúrico, clorídrico ou nítrico), enquanto as segundas removem quer os ácidos fortes quer os ácidos fracos (como o salicílico e o carbónico). As primeiras são regeneradas com carbonato de sódio (soda) e as segundas com soda cáustica.

  Assim, se se quiser remover a sílica duma água, como já se referiu, é obrigatório o uso de resinas aniónicas fortemente básicas. No que se refere ao ácido carbónico, que se decompõe sempre em anidrido carbónico mais água, também é possível removê-lo quimicamente por meio da resina aniónica fortemente básica, mas é mais económico remover o CO_2 mecanicamente por arejamento. Tal como nas resinas catiónicas, também a capacidade das resinas aniónicas depende da quantidade de regenerante usado. Depende, além disso, da quantidade de sulfatos presentes na água, uma vez que, em certa medida, o ácido sulfúrico é retido pelas resinas como se um só dos seus hidrogénios tivesse carácter ácido. Assim, a capacidade das resinas aniónicas é ligeiramente maior para o ácido sulfúrico que para quantidades equivalentes de ácidos clorídrico ou nítrico. São possíveis vários arranjos de colunas catiónicas, aniónicas ou mistas para atingir a desmineralização de uma água. Este processo permite a eliminação de todos os sais contidos na água, contudo o seu custo é cerca de 10 vezes superior a um tratamento de precipitação química (p. ex., com cal), ou 15 vezes superior ao custo de um processo de permuta iónica.

  Uma alternativa ao processo de desmineralização e muito em voga nos anos recentes, mas também um tipo de tratamento mais caro (cerca de 25 vezes o custo do processo de permuta iónica), consiste no processo de osmose inversa, com recurso a membranas. Esta técnica baseia-se no princípio de que, quando soluções de diferentes concentrações são separadas por uma membrana semi-permeável, a água da solução menos concentrada passa através da membrana para diluir o líquido de maior concentração. Se a solução de maior concentração for pressurizada, o processo é invertido e a água da solução com maior concentração flui para a solução menos concentrada. A qualidade da água que se obtém depende da concentração da solução do lado da pressão maior e do diferencial de pressão através da membrana. É um processo adequado para águas com teores altos de TSD.

- Remoção de gases (com desgasificador): o carácter corrosivo do vapor e dos condensados é devido à presença de oxigénio e, sobretudo, de dióxido de carbono, traduzindo-se a corrosão devida ao O_2 por picadas características, localizadas, susceptíveis de provocar perfurações rápidas dos tubos,

enquanto que a solução de CO_2 provoca um ataque generalizado e o adelgaçamento progressivo dos tubos, levando-os rapidamente à rotura. A desgasificação, embora possa ser efectuada por via química, é frequente que também seja realizada por via térmica com um desarejador ou desgasificador físico, no qual os gases são expelidos/removidos por pré-aquecimento da água antes de esta entrar na caldeira. De salientar que a água contém normalmente cerca de 10 mg/l de oxigénio dissolvido à temperatura ambiente. O funcionamento destes equipamentos pode processar-se de duas maneiras que só aparentemente são distintas: ou se aumenta a temperatura da água até perto do seu ponto de ebulição, à pressão de funcionamento, ou se diminui a pressão até perto da pressão de equilíbrio da água com o seu vapor à temperatura em vigor. O primeiro tipo corresponde às unidades de pressão e o segundo às unidades de vácuo, sendo mais usual unidades de pressão. Como é necessário aquecer a água que alimenta as caldeiras, isto é feito à custa destes equipamentos nos quais é injectado vapor (com a água a ser dividida sob a forma de "spray" ou filme, através do qual o vapor é forçado para arrastar os gases dissolvidos na água (O_2, N_2, CO_2) [18].

Por este meio consegue-se uma redução de oxigénio até 0,005 ml/l, teor que se aproxima do mínimo quimicamente detectável, além de se conseguir também eliminar o CO_2 e consequentemente corrigir o pH. Estes equipamentos são normalmente instalados a cota elevada para criarem "carga" favorável ao funcionamento das bombas de água que abastecem a caldeira, para obviar a possibilidade de ocorrência de eventuais condições de cavitação.

- Filtração: para remoção de sólidos em suspensão.

(ii) Tratamento interno

Este tipo de tratamento mais não é do que um suplemento do tratamento prévio ou externo, que pode deixar ainda alguns vestígios das impurezas que se pretendem eliminar. Envolve a adição de diversas substâncias químicas na água de alimentação da caldeira com várias finalidades. Incluem-se aqui aditivos como o sulfito de sódio ou a hidrazina para remoção do oxigénio (constituindo pois um processo de desgasificação por via química) ou o hidróxido de sulfato ou fosfato de amónio para a eliminação de CO_2, anti-espumas e produtos de controlo do pH, como é o caso do fosfato trissódico ou dos polifosfatos.

Também soluções simples de tratamento de água como o referido para geradores de baixa pressão e com reduzidas taxas de vaporização, com a sua água de alimentação a revelar alguns valores residuais de dureza (trazidos pela água de compensação ou pelo retorno de condensados), e portanto sendo o objectivo do tratamento a anulação desses resíduos de dureza, por exemplo mediante a adição de um fosfato solúvel, caem igualmente dentro desta categoria de tratamento.

[18] A água a desgasificar (água bruta e condensados), no interior do desgasificador é obrigada a passar por um conjunto de tabuleiros, sendo atravessada em contra-corrente por um fluxo de vapor. É o efeito de batimento e fervura provocado pelo vapor que liberta os gases dissolvidos, que são arrastados para a atmosfera. Nos desgasificadores a vácuo, a água à temperatura de saturação correspondente à pressão reinante no equipamento, é conduzida a uma grelha de dispersão, passando de seguida a uma zona de descompressão, onde se verifica a libertação dos gases. A evacuação destes, juntamente com a do vapor, é assegurada por um injector ou uma bomba de vácuo.

Em suma, nos tratamentos internos adicionam-se substâncias químicas à água de alimentação, de modo a alterar ou condicionar as reacções que se verificam no interior do gerador de vapor. É frequente a utilização de misturas de substâncias orgânicas e inorgânicas num variado número de combinações, que podem adquirir-se com diferentes nomes comerciais.

Os métodos mais convenientes de tratamento, quer externo quer interno, devem ser aconselhados em cada caso particular pelo fabricante da caldeira.

(iii) Purgas

Os sólidos dissolvidos e em suspensão introduzidos numa caldeira através da água de alimentação e também constituídos por produtos de corrosão das próprias paredes da caldeira, permanecem no seu interior, à medida que se vai gerando o vapor.

A adição contínua de água de compensação ocasiona cada vez maiores concentrações, até que se atinge um ponto para além do qual o funcionamento deixa de ser satisfatório: formam-se espumas, dão-se projecções e passa a haver um arrastamento significativo da água com o vapor formado, com a consequente contaminação deste, deposição de incrustações nos equipamentos utilizadores de vapor e contaminação dos condensados. A concentração específica a que se formam as espumas e se dão as projecções variam consoante a composição da água, a presença ou ausência de matéria em suspensão e a pressão e capacidade da caldeira. Contudo, como já se viu atrás, é possível recomendar limites máximos para as várias impurezas da água, sendo frequentes especificações por parte dos próprios fabricantes das caldeiras.

Mas mesmo com estas recomendações, para manter concentrações inferiores às máximas permissíveis e evitar a ocorrência de fenómenos como os referidos atrás, é necessário proceder a purgas que podem ser periódicas ou contínuas. Esta operação é essencial mesmo que tenha havido um bom tratamento externo da água, devendo contudo ser uma preocupação constante dos responsáveis técnicos pela instalação a sua minimização na medida do possível, já que se não houver recuperação de calor dessas purgas tal operação contribui para um desperdício de energia.

Em traços gerais, pode dizer-se que para se manter um nível pré-determinado do total de sólidos dissolvidos (TSD) na água de uma caldeira, é necessário que a quantidade de TSD removida pelas purgas seja igual à quantidade que entra com a água de alimentação. Será possível purgar a menor quantidade de água quando o teor de TSD na caldeira for o máximo admissível e quando o teor de TSD na água de alimentação for o mínimo.

As purgas contínuas têm sobre as periódicas a vantagem de manter a salinidade no interior da caldeira dentro de limites mais apertados e, ao mesmo tempo, de permitir uma recuperação de calor contido no líquido rejeitado. A purga é feita continuamente, sendo o seu caudal comandado automaticamente

através de leituras periódicas da salinidade, e a recuperação de calor pode ser feita em permutadores e/ou tanques de vaporização súbita (tanques de "flash" [19]).

A viabilidade da recuperação de calor em purgas é normalmente melhor conseguida em sistemas de purga contínua do que em purgas periódicas, ainda que em purgas do último tipo, desde que realizadas numa frequência razoável, não seja impossível tal desiderato.

Para as considerações anteriores há que distinguir os tipos de purgas que se podem efectuar. As chamadas purgas de fundo ou *sangrias* permitem retirar da água as impurezas que são mais pesadas, inclusive lamas, que se depositam no fundo do gerador, e são violentas e curtas. Se outras indicações não forem dadas, designadamente pelo fabricante do gerador de vapor, o fogueiro deve purgar este, pela válvula de fundo, pelo menos 1 vez no seu turno de trabalho, e esta purga deve ser feita de preferência quando não há pedidos de vapor, devendo antes ter-se posto o nível no seu valor máximo.

O outro tipo de purga comum, a chamada purga de superfície, é em geral para redução da concentração. Não se efectua geralmente desconcentração contínua no fundo, para por um lado preservar a válvula e por outro não criar "caminhos" nas lamas que dificultariam a sua remoção pela purga de fundo. A purga de superfície, segundo recomendação de todos os fabricantes de caldeiras, é usada para desconcentração, efectuada abaixo do nível mínimo de operação pelo menos 200 mm. A razão para esta colocação tem que ver com uma amostra líquida em que possa ser medida a condutividade e que a descarga seja apenas da fase líquida. A colocação de tomadas acima do nível por parte de determinados fabricantes de caldeiras inviabiliza normalmente a aplicação de sistemas automáticos de purga de desconcentração.

Os sistemas de purgas podem ser manuais, semi-automáticos ou completamente automáticos. Um bom controlo das purgas dos geradores de vapor equivale a poder reduzir-se os custos operacionais e de tratamento da água, traduzindo-se em:

- Menores custos com o tratamento externo;
- Menor consumo de água de compensação;
- Menor manutenção necessária;
- Aumento do tempo de vida útil da caldeira;
- Menor consumo de produtos químicos para tratamento da água.

Feito este preâmbulo um pouco extenso mas que tem essencialmente uma finalidade pedagógica, sobre o tratamento necessário da água de um gerador de vapor e respectivas purgas, constituindo informação importante para quem opera com este tipo de equipamentos, passamos a apresentar de forma resumida a situação encontrada na amostra de 63 caldeiras de vapor analisadas, no que concerne a estes aspectos ou com eles relacionados.

[19] Trata-se de tanques onde a pressão reinante é inferior à pressão do líquido que se pretende vaporizar. Ao dar entrada no tanque, o líquido, cuja temperatura é superior à temperatura de equilíbrio entre o líquido e o vapor à pressão reinante, vaporiza-se até que a sua entalpia iguale a entalpia do líquido correspondente à pressão do tanque.

Como se sabe, o peso relativo da água de compensação ("make-up") na água de alimentação dos geradores de vapor depende da percentagem de recuperação de condensados na central térmica, variando inversamente com aquela percentagem. Na amostra de caldeiras analisada, no que respeita a essa recuperação de condensados para os geradores em que tal informação foi possível de obter nos diagnósticos, aquela atinge os seguintes valores:

% retorno de condensados =	≤ 60% (média = 46%)	em	37% dos geradores
	>60% e ≤ 80% (média = 74%)	em	21% dos geradores
	>80% e ≤ 95% (média = 91%)	em	42% dos geradores

Verifica-se, pois, que há uma quantidade significativa de caldeiras (quase 60%) em que esta recuperação de condensados não excede os 80%, mas sobre esta situação não se podem retirar muitas conclusões, já que uma averiguação das razões para a mesma saía claramente do âmbito dos diagnósticos energéticos efectuados. Na maioria das instalações, provavelmente tal dever-se-á a contingências do processo e ao tipo de equipamentos utilizadores de vapor existentes e a eventualmente haver uma percentagem considerável de condensados contaminados que não podem ser aproveitados, não tendo necessariamente que estar relacionada com uma menor atenção aos aspectos energéticos (dado que quanto maior for essa recuperação de condensados, maior será a temperatura da água de alimentação aos geradores de vapor e consequentemente menos combustível se consumirá nestes equipamentos). Uma maior recuperação de condensados, para além da vantagem energética, equivale portanto a economizar-se também água substancialmente e, pelo facto do condensado constituir já uma água tratada quimicamente para evitar ou diminuir incrustações no interior da caldeira, não precisa de ser tratada para alimentar de novo aquela (quando muito, necessitará apenas de uma correcção do seu teor de acidez (pH)).

Resumindo, o facto de se constatar uma percentagem considerável de geradores com taxas de retorno de condensados não muito elevadas, equivale a dizer que nesses geradores tem que se ter maiores quantidades de água de "make-up" e isto condiciona claramente o tipo de tratamento de água que tem que ser efectuado. Refira-se ainda, a título de curiosidade, que as origens desta água de compensação também são variadas, o que igualmente contribui para uma diversidade de tipos de tratamento de água a efectuar. Em cerca de 48% dos geradores, a proveniência desta água é de furos locais, em 37% das caldeiras a água provém da rede municipal pública, em 13% dos casos tem uma proveniência mista destas duas fontes e em 2% dos geradores tem outra origem (p. ex., minas).

O **Quadro 14** apresenta uma síntese dos tipos de tratamento de água que se encontram nos geradores da amostra, do tipo de análises físico-químicas que são realizadas à água e sua periodicidade, de algumas conclusões que se podem extrair desses tratamentos, e dos tipos de purgas que se fazem nesses geradores.

Quadro 14 – Tratamento de água e purgas na amostra de geradores de vapor analisada

(NOTA: As percentagens indicadas para diversos itens referem-se ao número de caldeiras que verificam esse item comparativamente ao total de caldeiras em análise)

TRATAMENTO DE ÁGUA					PURGAS	
Tipo de tratamento externo	**Tipo de tratamento interno**	**Tipo de análises de águas** (parâmetros determinados)	**Periodicidade de análises**	**Eficiência do tratamento** (com base na última análise efectuada)	**Tipo**	**Recuperação de calor**
Permuta iónica (descalcificador) – 17% Permuta iónica + Desgasificação – 27% Desmineralização + Descalcificação – 3% Filtração + Permuta iónica + Desgasif. – 25% Filtração + Permuta iónica – 3% Permuta iónica + Osmose + Desgasif. – 3% Permuta iónica + Osmose – 3% Osmose + Desgasificação – 3% Osmose + Desmineralização + Desgasif. – 3% Osmose – 3% ND* - 8% * Informação não disponível	Não existe – 14% Produtos químicos diversos (sulfitos, fosfatos, dispersantes, soda, …) – 79% ND* - 6% * Informação não disponível	pH – 96% Condutividade – 77% Dureza total – 96% Dureza Ca – 36% Dureza Mg – 4% Alcalinidade total – 71% Alcalinidade à fenolftaleína – 79% Alcalinidade de hidróxidos – 54% Fosfatos – 68% Cloretos – 43% Sulfitos – 61% Ferro – 57% TSD – 68% Total de sólidos em suspensão – 25% Sílica – 7% Hidrazina – 7% Cor – 32% Turbidez – 21%	Diárias – 8% Semanal – 15% Quinzenal – 22%* Mensal – 37% 45 dias – 4% Bimestral – 7% Semestral – 7% * Em duas destas caldeiras (7%), alguns parâmetros (pH e TSD) são analisados com uma periodicidade menor (de 3 em 3 dias).	Valores de diversos parâmetros das análises com desvios em relação aos valores recomendados / Problemas vários – 42% Valores satisfatórios de parâmetros das análises / Tratamento adequado – 58%	Intermitente – 76%* Contínua – 5% Interm. e cont. – 18% * Em duas caldeiras (4%) está também em montagem uma purga contínua (sem recuperação de calor).	Em purgas intermitentes – 0% Em purgas contínuas – 8%

Verifica-se que:

- Há uma diversidade enorme de tratamentos de água, sendo várias as combinações possíveis de tratamento externo. Contudo, a permuta iónica através de descalcificador, isoladamente ou em combinação com outros tratamentos, é o processo mais comum de tratamento externo, encontrando-se em cerca de 80% das caldeiras analisadas. Processos de tratamento mais sofisticados, como a desmineralização e a osmose inversa, só se encontram em 18% das caldeiras da amostra, enquanto que a utilização de um desgasificador para remoção de gases apenas ocorre em 63% dos geradores (com a maior parte desses equipamentos a ser do tipo pressurizado, com torre e chicanas[20]).

- Não existe qualquer tratamento interno em cerca de 14% dos geradores analisados, e os que têm esse tipo de tratamento recorrem a aditivos químicos como os que foram explanados atrás a propósito desta matéria.

- As análises de água que se efectuam, bem como a sua periodicidade, variam bastante de empresa para empresa, destacando-se contudo a determinação de alguns parâmetros como o pH, a condutividade, a dureza total, a alcalinidade total, a alcalinidade à fenolftaleína, o total de sólidos dissolvidos e os teores de fosfatos, sulfitos e ferro, como sendo os mais comuns. No que concerne à frequência com que são realizadas estas análises, em cerca de 60% das caldeiras analisadas elas são efectuadas numa base mensal ou quinzenal (que se pode considerar aceitável), em 23% dos geradores são realizadas em períodos mais curtos (numa base diária ou semanal, o que é bastante bom e denota uma preocupação louvável com a condução desses geradores, por parte dos seus responsáveis técnicos), e em 18% da amostra essas análises são menos frequentes, chegando-se inclusive a situações de serem numa base semestral (o que é de todo inadequado, podendo dar azo a uma condução deficiente da operação dessas caldeiras).

- Tendo por base os resultados das últimas análises que foram facultadas no decurso dos diagnósticos, poder-se-á concluir que apenas em cerca de 60% das caldeiras o tratamento de água que é efectuado se pode considerar adequado, com os valores dos diversos parâmetros das análises a estarem dentro dos limites recomendados. Portanto, há ainda uma percentagem considerável de geradores (42%) que apresenta valores de diversos parâmetros das suas análises de água (como por exemplo, o pH, a dureza, a condutividade, os teores de TSD, de fosfatos, de ferro, etc.) com valores afastados dos recomendados, o que conduz normalmente a problemas, tendo inclusive sido detectados dois geradores com riscos de corrosão, e a um número exagerado de purgas. Nalguns destes geradores com valores não recomendáveis em parâmetros das suas análises, a par de dosagens incorrectas de produtos químicos também foram encontradas algumas situações de

[20] No decurso dos diagnósticos efectuados, verificou-se em mais de 80% destes equipamentos (desgasificadores) que existem obstáculos ao fluxo, como por exemplo filtros, válvulas de seccionamento e contadores de água, mas que não interferem com o funcionamento das bombas.

anomalias em alguns dos equipamentos de tratamento externo, que conduziram a esses resultados, o que denota alguma falta de acompanhamento da operação das caldeiras envolvidas.

- Em 76% dos geradores analisados, as purgas são do tipo intermitente (periódicas). Apenas se encontra purgas contínuas em 13 das 63 caldeiras analisadas e unicamente com uma delas a apresentar recuperação de calor. De salientar que em algumas caldeiras foram encontradas taxas de purgas demasiado elevadas, que chegam aos 11%, o que é indiciador de uma elevada concentração de sólidos dissolvidos na água de alimentação desses geradores, por deficiente tratamento da água.

Face ao exposto atrás, podemos concluir que esta vertente do tratamento de água em geradores de vapor é claramente uma área a merecer uma atenção especial no panorama da indústria portuguesa, contribuindo em algumas empresas para situações não recomendáveis para uma boa operação daqueles equipamentos, tendo também uma quota parte de responsabilidade em problemas técnicos e em consumos energéticos desnecessários nas instalações em que tal se verifica. A isto acresce ainda a percentagem significativa de caldeiras da amostra analisada (35%) em que o respectivo tanque de água de alimentação não estava isolado termicamente, contribuindo igualmente tal situação para consumos desnecessários de combustível nesses geradores.

c) Eficiência Térmica dos Geradores analisados

A partir da análise de gases de combustão efectuada a cada um dos geradores de vapor no decurso dos diagnósticos realizados, foram determinados os respectivos rendimentos pelo Método das Perdas e com base no Poder Calorífico Inferior (PCI) do combustível utilizado. De salientar que a referida análise a cada gerador, sempre que possível, foi realizada nas diversas chamas de funcionamento do mesmo.

O Quadro 15 ilustra os resultados obtidos, sendo que o rendimento determinado para cada caldeira é a média ponderada, com base nos tempos de funcionamento de cada chama, dos rendimentos calculados para as diversas chamas, e com cada um destes valores a ser determinado pela expressão

$$\text{Rendimento (\%)} = 100 - \sum \text{Perdas}$$

e, em que as diversas perdas são basicamente de cinco tipos:

- perdas associadas ao calor sensível nos gases secos de combustão (P_{gc});
- perdas associadas à entalpia do vapor de água nos gases de combustão (P_{H_2O});
- perdas associadas a inqueimados nos gases de combustão (P_{CO});
- perdas associadas às purgas (P_p);
- perdas por radiação e convecção e outras perdas não-contabilizáveis (P_r).

As equações que permitem o cálculo de cada uma destas perdas podem ser visualizadas no Anexo 2, no modelo de Relatório utilizado nos Diagnósticos Energéticos.

Quadro 15 – Análise da combustão e determinação da eficiência térmica dos vários geradores de vapor analisados

(NOTAS: Rendimentos assinalados com * significam que as caldeiras em causa dispõem de economizador; e, rendimentos assinalados com ** significam que as caldeiras dispõem de pré-aquecedor de ar de combustão)

Cald. nº	Tipo / Nº pass. gases	Pot. nom. (MW)	Pressão (bar) / Temp. (ºC) do vapor; e, carga do gerador (%)	Análise dos gases de combustão															Rendimento calculado (%)
				Chama mínima					Chama média					Chama máxima					
				T (ºC)	%O_2	%CO_2	%CO	% Excesso de ar de combustão	T (ºC)	%O_2	%CO_2	%CO	% Excesso de ar de combustão	T (ºC)	%O_2	%CO_2	%CO	% Excesso de ar de combustão	
	GERADORES DE VAPOR UTILIZANDO GÁS NATURAL COMO COMBUSTÍVEL																		
1	Vap. ráp. / 3	0,17	8 / 175 ; 100%	240	4,5	9,3	0,0	**25**	-	-	-	-	**-**	190	4,5	9,3	0,0	**25**	**87,5**
2	Vap. ráp. / 4	0,45	7,5 / 173 ; 100%	-	-	-	-	**-**	228	4,0	9,7	0,0	**21**	-	-	-	-	**-**	**86,3**
3	T. fumo / 3	0,55	10 / 184 ; 100%	190	4,5	9,5	0,0	**25**	-	-	-	-	**-**	220	4,5	9,5	0,0	**25**	**87,0**
4	Vap. ráp. / 3	1,0	14 / 198 ; 100%	195	4,5	9,5	0,0	**25**	-	-	-	-	**-**	240	4,5	9,5	0,0	**25**	**86,2**
5	T. fumo / 2	1,3	4,5 / 156 ; 30%	190	12,7	4,6	0,1	**139**	-	-	-	-	**-**	195	7,9	7,4	0,0	**55**	**76,1**
6	T. fumo / 2	1,3	4,5 / 156 ; 30%	169	11,6	5,3	0,0	**111**	-	-	-	-	**-**	183	10,5	5,9	0,0	**91**	**79,7**
7	T. fumo / 3	1,4	6,5 / 168 ; 60%	171	3,3	10,0	0,0	**17**	193	3,2	10,1	0,0	**16**	212	3,1	10,2	0,0	**16**	**87,0**
8	T. fumo / 3	1,5	8 / 175 ; 60%	215	7,0	7,9	0,0	**45**	-	-	-	-	**-**	260	5,4	8,7	0,0	**31**	**82,8**
9	T. fumo / 1	2,7	10,5 / 186 ; 85%	-	-	-	-	**-**	182	3,6	10,0	0,0	**19**	-	-	-	-	**-**	**89,2***
10	T. fumo / 3	2,9	8,4 / 177 ; ?	188	1,0	11,3	0,0	**5**	207	2,0	10,8	0,0	**9**	226	1,6	11,0	0,0	**8**	**85,2**
11	T. fumo / 3	3,0	10 / 184 ; 75%	220	4,0	9,2	0,0	**21**	220	4,0	8,7	0,0	**21**	225	2,0	10,7	0,0	**10**	**85,4**
12	T. fumo / 3	3,1	8 / 175 ; 40%	-	-	-	-	**-**	200	4,5	9,3	0,0	**25**	206	4,4	9,4	0,0	**24**	**85,6**
13	T. fumo / 3	3,4	8,5 / 178 ; 30%	210	2,7	10,4	0,0	**13**	219	2,9	10,3	0,0	**15**	223	3,1	10,1	0,0	**16**	**84,0**
14	T. fumo / 3	3,4	7,5 / 173 ; 20%	195	6,1	8,5	0,0	**37**	197	4,4	9,5	0,0	**24**	203	2,0	10,9	0,0	**10**	**82,4**
15	T. fumo / 3	3,6	9 / 180 ; 60%	188	9,5	6,2	0,0	**75**	191	6,0	8,4	0,0	**36**	203	4,1	9,5	0,0	**22**	**85,0***
16	T. fumo / 3	3,7	12 / 192 ; 50%	-	-	-	-	**-**	212	6,1	8,4	0,0	**37**	-	-	-	-	**-**	**85,0**
17	T. fumo / 3	4,1	8 / 175 ; 30%	-	-	-	-	**-**	159	5,8	8,4	0,0	**35**	-	-	-	-	**-**	**86,1***
18	T. fumo / 3	4,1	8,4 / 177 ; ?	196	1,9	10,9	0,0	**9**	204	2,0	10,8	0,0	**9**	218	2,5	10,5	0,0	**12**	**88,1**
19	T. fumo / 3	4,3	12 / 192 ; 50%	-	-	-	-	**-**	211	8,2	7,4	0,0	**58**	-	-	-	-	**-**	**84,0**
20	T. fumo / 3	4,3	7,8 / 174 ; 40%	104	4,8	9,2	0,0	**27**	118	3,3	10,1	0,0	**17**	129	2,0	10,6	0,0	**10**	**89,2***
21	T. fumo / 3	4,6	10 / 184 ; ?	187	5,9	8,3	0,0	**35**	216	3,9	9,6	0,0	**21**	230	3,6	9,9	0,0	**19**	**87,5**
22	T. fumo / 3	5,4	7 / 171 ; ?	*Por lapso, o registo da análise de gases de combustão perdeu-se, tendo contudo o técnico que efectuou o diagnóstico preenchido no relatório o valor do rendimento dado pelo analisador de gases.*															**85,8**
23	T. fumo / 3	5,4	8 / 175 ; ?	190	4,5	9,5	0,0	**25**	200	4,5	9,5	0,0	**25**	210	4,5	9,5	0,0	**25**	**88,1***
24	T. fumo / 3	5,4	9 / 180 ; ?	190	4,5	9,5	0,0	**25**	205	4,5	9,5	0,0	**25**	215	4,5	9,5	0,0	**25**	**87,9**
25	T. fumo / 3	5,5	11,3 / 189 ; 60%	182	4,4	9,6	0,0	**24**	196	3,5	10,1	0,0	**18**	215	2,3	10,8	0,0	**11**	**87,9***
26	T. fumo / 3	6,2	18,5 / 211 ; 50%	135	6,9	8,1	0,0	**44**	147	5,3	8,8	0,0	**31**	205	4,7	9,3	0,0	**26**	**90,3***
27	T. fumo / 3	6,6	10 / 184 ; 50%	160	4,5	9,1	0,2	**24**	215	6,3	8,3	0,0	**39**	256	3,3	10,0	0,2	**16**	**85,4***
28	T. fumo / 3	6,8	10 / 184 ; 5%	*Não foi possível a análise de gases pelo facto da caldeira estar sempre a desligar em virtude da sua reduzida carga em operação.*															**n.d.**
29	T. fumo / 3	7,0	8,5 / 178 ; 70%	207	2,9	10,3	0,0	**15**	228	2,7	10,4	0,0	**13**	246	3,1	10,1	0,0	**16**	**86,4**
30	T. fumo / 1	7,1	10 / 184 ; ?	123	2,6	10,4	0,0	**13**	130	2,0	10,8	0,0	**10**	173	1,8	10,9	0,0	**8**	**91,9***
31	T. fumo / 1	7,1	10 / 184 ; ?	116	1,0	11,2	0,0	**5**	123	2,0	10,8	0,0	**10**	184	2,0	10,8	0,0	**9**	**92,3***
32	T. fumo / 3	8,5	11 / 188 ; 50%	203	7,4	7,6	0,0	**49**	-	-	-	-	**-**	204	7,2	7,7	0,0	**47**	**85,2**

Quadro 15 (continuação)

Cald. nº	Tipo / Nº pass. gases	Pot. nom. (MW)	Pressão (bar) / Temp. (ºC) do vapor; e, carga do gerador (%)	Análise dos gases de combustão															Rendimento calculado (%)
				Chama mínima					Chama média					Chama máxima					
				T (ºC)	%O_2	%CO_2	%CO	% Excesso de ar de combustão	T (ºC)	%O_2	%CO_2	%CO	% Excesso de ar de combustão	T (ºC)	%O_2	%CO_2	%CO	% Excesso de ar de combustão	
33	T. fumo / 3	8,5	11 / 188 ; 50%	203	7,8	7,4	0,0	**53**	-	-	-	-	**-**	204	7,2	7,7	0,0	**47**	**85,1**
34	T. fumo / 3	9,2	7 / 171 ; ?	193	2,6	10,4	0,0	**13**	203	3,3	10,0	0,0	**17**	211	2,3	10,6	0,0	**11**	**88,8***
35	T. fumo / 3	10,0	9 / 180 ; 30%	190	6,8	8,6	0,0	**43**	190	6,3	8,2	0,0	**39**	-	-	-	-	**-**	**84,2***
36	T. fumo / 3	10,3	8 / 175 ; 30%	-	-	-	-	**-**	159	5,8	8,4	0,0	**35**	-	-	-	-	**-**	**86,3***
37	T. fumo / 3	10,3	8 / 175 ; 30%	*Não foi feita a análise de gases a esta caldeira por se encontrar desligada durante o diagnóstico, dado que trabalha em regime alternado com a caldeira nº 35.*															**n.d.***
38	T. fumo / 3	10,3	n.d.	*Não foi possível a análise de gases por a caldeira se encontrar desligada durante o diagnóstico. Pertencente à mesma empresa da caldeira nº 28 e com um funcionamento justificado pelo carácter sazonal da laboração da empresa.*															**n.d.**
39	T. fumo / 1	10,9	10,5 / 185 ; ?	173	4,5	9,3	0,0	**25**	200	4,2	9,4	0,0	**23**	220	5,0	9,0	0,0	**28**	**87,8***
	GERADORES DE VAPOR UTILIZANDO GASES DE PETRÓLEO LIQUEFEITOS (PROPANO OU BUTANO) COMO COMBUSTÍVEL																		
40	Vap. ráp. / 4	0,70	7,5 / 173 ; 55%	227	3,0	12,1	0,0	**17**	-	-	-	-	**-**	243	3,2	11,9	0,0	**18**	**85,2**
41	Vap. ráp. / 3	0,70	6 / 165 ; 100%	230	4,5	10,5	0,0	**27**	-	-	-	-	**-**	190	4,5	10,5	0,0	**27**	**87,1**
42	Vap. ráp. / 4	0,83	8 / 175 ; 50%	223	3,2	11,9	0,0	**18**	-	-	-	-	**-**	235	3,6	11,7	0,0	**21**	**84,8**
43	T. fumo / 3	0,84	8 / 175 ; 100%	210	4,5	10,5	0,0	**27**	-	-	-	-	**-**	240	4,5	10,5	0,0	**27**	**86,6**
44	T. fumo / 3	1,4	8 / 175 ; 100%	190	4,5	10,5	0,0	**27**	-	-	-	-	**-**	220	4,5	10,5	0,0	**27**	**87,7**
45	T. fumo / 3	2,7	7 / 171 ; ?	100	2,3	12,2	0,0	**12**	164	1,3	12,8	0,0	**7**	184	3,3	11,6	0,0	**18**	**89,9***
	GERADOR DE VAPOR UTILIZANDO ESTILHA COMO COMBUSTÍVEL																		
46	T. fumo / 3	3,8	8 / 175 ; ?	97	13,2	7,3	0,7	**169**	95	14,1	6,6	0,4	**203**	93	17,4	3,4	0,3	**477**	**74,5**
	GERADORES DE VAPOR UTILIZANDO FUELÓLEO COMO COMBUSTÍVEL																		
47	T. fumo / 3	0,77	8 / 175 ; ?	-	-	-	-	**-**	-	-	-	-	**-**	277	5,5	11,4	0,0	**35**	**83,7**
48	T. fumo / 3	0,77	8 / 175 ; 40%	-	-	-	-	**-**	-	-	-	-	**-**	229	4,0	12,5	0,0	**24**	**86,9**
49	T. fumo / 3	1,9	6,5 / 168 ; 20%	176	6,1	11,3	0,0	**41**	211	4,8	12,3	0,0	**30**	248	4,4	12,6	0,0	**27**	**83,1**
50	T. fumo / 3	3,6	9 / 180 ; 50%	219	3,8	13,1	0,0	**22**	253	3,8	13,0	0,0	**22**	273	3,6	13,2	0,0	**21**	**85,8**
51	T. fumo / 1	3,9	9 / 180 ; Arranque	-	-	-	-	**-**	140	12,3	6,3	0,0	**141**	-	-	-	-	**-**	**87,5****
52	T. fumo / 3	4,1	9,5 / 182 ; 50%	199	5,0	12,1	0,0	**31**	214	3,6	13,2	0,0	**21**	-	-	-	-	**-**	**86,1**
53	T. fumo / 3	4,8	10,5 / 186 ; 40%	194	8,5	9,1	0,0	**68**	200	8,5	9,1	0,0	**68**	204	8,5	9,1	0,0	**68**	**84,5**
54	T. fumo / 3	4,9	10 / 184 ; 70%	203	6,6	8,1	0,0	**46**	-	-	-	-	**-**	235	2,5	10,3	0,0	**14**	**84,2**
55	T. fumo / 3	5,3	10,5 / 186 ; 40%	226	8,2	9,4	0,0	**64**	276	5,0	11,7	0,0	**31**	327	5,8	11,1	0,0	**38**	**81,9**
56	T. fumo / 3	5,6	6,5 / 168 ; 90%	211	5,9	11,4	0,0	**39**	236	4,5	12,5	0,0	**27**	271	4,4	12,6	0,0	**26**	**87,1**
57	T. fumo / 3	6,5	9,2 / 181 ; 50%	199	3,3	13,4	0,0	**19**	259	4,2	12,7	0,0	**25**	307	5,3	11,9	0,0	**34**	**85,7**
58	T. fumo / 3	7,8	12 / 192 ; 50%	209	2,0	13,9	0,0	**11**	238	3,2	13,0	0,0	**18**	272	3,0	13,2	0,0	**17**	**85,2**
59	T. fumo / 3	8,2	12 / 192 ; 50%	202	3,4	12,9	0,0	**19**	257	0,7	15,0	0,0	**3**	302	3,2	13,0	0,0	**18**	**84,7**
60	T. fumo / 3	9,0	9 / 180 ; 50%	198	8,4	9,2	0,0	**67**	-	-	-	-	**-**	230	9,2	7,9	0,0	**78**	**83,7**
61	T. água / 1	18,2	5,6 / 163 ; Parado	*À data do diagnóstico esta caldeira estava em manutenção, pelo que não foi possível a análise da combustão. Contudo, a partir de outros dados incluídos no respectivo Relatório (caudais de combustível e de vapor produzido) , e ainda que tal não tenha sido apresentado nesse documento, é possível uma estimativa do rendimento desta caldeira em condições normais de funcionamento (carga de 40%) pelo Método Directo.*															**78,3***
62	T. água / 1	31,0	35 / 313 (v. sobreaq.); ?	149	2,5	13,6	0,0	**14**	-	-	-	-	**-**	149	2,0	14,0	0,0	**11**	**91,2*****
63	T. fumo / 3	n.d.	9,5 / 182 ; Parado	*Não foi feita a análise de gases a esta caldeira por se encontrar desligada durante o diagnóstico, dado que trabalha em regime alternado com a caldeira nº 52.*															**n.d.**

O Quadro 16 e a Figura 9 sintetizam algumas das principais conclusões que se podem retirar da análise do Quadro 15, no que concerne aos rendimentos encontrados nos vários geradores analisados.

Quadro 16 – Distribuição dos geradores de vapor diagnosticados por gamas de rendimento.

Tipo de caldeiras (por tipo de combustível)	Desagregação do número de caldeiras segundo a sua Eficiência Térmica (η)						Valor médio de η
	74%≤ η < 80%	80%≤ η < 85%	85%≤ η < 90%	90%≤ η < 95%	η ≥ 95%	Total	
Gás natural	2	5	26	3	0	36	86,2%
G.P.L.	0	1	5	0	0	6	86,9%
Estilha	1	0	0	0	0	1	74,5%
Fuelóleo	1	7	7	1	0	16	85,0%
TOTAL	**4**	**13**	**38**	**4**	**0**	**59**	**85,7%**

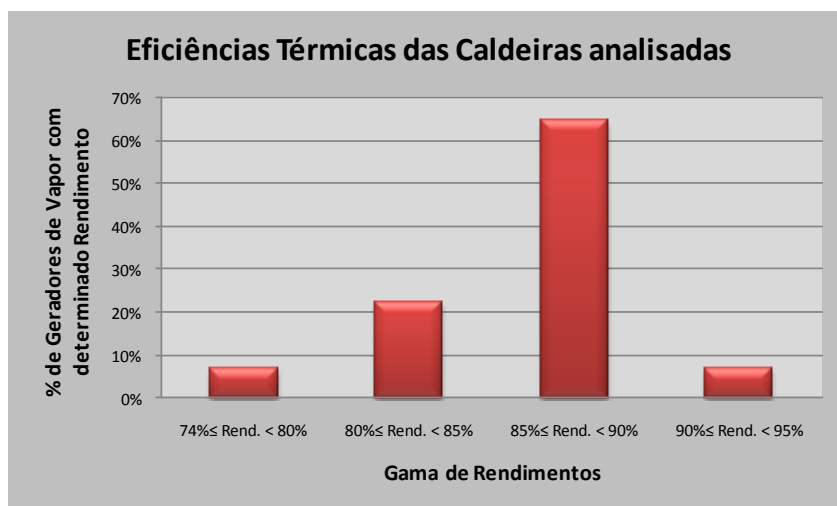



Fig. 9 – Rendimentos dos Geradores de Vapor analisados (59 caldeiras).

Da análise de toda esta informação (de ambos os Quadros e da Figura), constata-se o seguinte:

- De um modo quase geral, os rendimentos das caldeiras analisadas são baixos, em consequência de uma combustão não optimizada. À excepção de pouco mais do que uma dúzia de geradores de vapor que apresentam condições de combustão razoáveis ou até mesmo muito boas, as restantes pautam-se por apresentarem excessos de ar de combustão elevados (e nalguns casos com valores claramente exagerados), independentemente do tipo de caldeira que se considere, e isto em uma, mais do que uma ou até mesmo em todas as chamas de funcionamento testadas, e em resultado disso as perdas de calor nos fumos (gases de combustão) são mais elevadas do que deveriam ser, contribuindo sobremaneira para o decaimento dos rendimentos desses geradores.

Mesmo tendo em conta que em geradores mais antigos ou que para funcionamentos que não à chama máxima, a regulação daquele parâmetro é mais difícil, a situação atrás referida de excessos de ar elevados é óbvia. Verifica-se que: nas caldeiras a gás natural se opera em alguns geradores com excessos de ar acima dos 20% e podendo em alguns casos ultrapassar os 100%, quando as boas práticas recomendam valores entre 5% e 15%; nas caldeiras a GPL, embora a situação não seja tão crítica já que o maior valor de excesso de ar encontrado foi 27%, também aqui os valores recomendáveis se situam entre os 5% e 15%; nas caldeiras a fuelóleo o ponto óptimo de funcionamento encontra-se geralmente entre os 15% e 20% de excesso de ar, e o que encontramos na amostra analisada é uma percentagem considerável de geradores com excessos de ar bem acima daqueles valores, havendo registos de máximos de 68% e 141%; e, no caso da caldeira a estilha, embora para esse tipo de caldeira sejam possíveis excessos de ar superiores aos valores atrás referidos, isto é, da ordem dos 50% - 70%, o que se encontrou foram valores demasiado elevados (169% / 203% / 477%). Mais adiante serão tecidos alguns comentários sobre a importância da regulação da combustão numa caldeira pelo ajuste do sistema de alimentação de ar ao queimador.

Portanto, do que foi dito, facilmente se infere que em grande parte destes geradores se impõe a necessidade de regulação da combustão, de modo a que os excessos de ar de combustão se situem nos valores recomendados ou próximos destes. Desta prática resultarão acréscimos de rendimento nessas caldeiras, com as correspondentes economias de combustível.

- A contribuir também para os valores baixos de rendimentos em alguns geradores está o facto da temperatura dos gases de combustão nos mesmos ser demasiado elevada, não se verificando a tal “regra de ouro” a que já aludimos atrás de não dever ser excedida em mais de 40-50ºC a temperatura do fluido quente produzido (vapor). Isto indicia claramente necessidades de limpeza das superfícies de transferência de calor nesses geradores, seja por deficiente tratamento de água ou por sujidade provocada pelos fumos, mesmo nos casos em que se utiliza um combustível gasoso, seja por deficiências dos próprios queimadores.

  (Nota: Também se verifica em algumas caldeiras e em determinadas chamas que as temperaturas dos fumos são relativamente baixas (inferiores às do vapor), o que pode significar que uma delas é incorrecta. O ponto de amostragem da temperatura dos gases de combustão deverá estar correctamente localizado, a fim de se evitarem quaisquer erros de leitura. Nestes casos particulares, a temperatura dos gases poderá ter sido influenciada por qualquer entrada pontual de ar durante as medições ou então aquando da sua realização em determinada chama esta ainda não estar totalmente estabilizada, e assim justificar tal situação anómala. A ser isto verdade, significa então que os rendimentos reais nessas caldeiras serão mais baixos do que os valores determinados. De salientar também que se a caldeira estiver provida de economizador e a temperatura dos gases for medida a jusante daquele, é possível obter temperaturas de gases inferiores à do vapor, ainda mais se houver injecção de água ‘fria’ no sistema para compensar consumo de vapor vivo).

- Igualmente com consequências na quebra de rendimento que algumas caldeiras registam está o facto da reduzida carga com que muitas funcionam ou de se encontrarem grande parte do tempo a operar bastante abaixo das respectivas potências nominais, daí resultando perdas de calor pelas paredes, por radiação e convecção, bastante superiores ao que se obteria à potência nominal. É bom relembrar que este tipo de perdas, por exemplo, numa caldeira a operar a 50% da sua capacidade nominal é o dobro do que se verificaria à capacidade máxima, ou seja há aqui uma variação do seu valor percentual na proporção inversa da razão entre o consumo actual de combustível e o consumo à capacidade máxima. Foram encontradas situações em que essas perdas ultrapassam os 5%, chegando até 8% no máximo, devido às razões acima mencionadas.

- Apenas em três geradores de vapor, no de combustível sólido e em dois a gás natural, foram detectados teores preocupantes (por serem elevados) de monóxido de carbono (CO) nos gases de combustão, o que é indiciador de uma combustão incompleta nesses geradores, contribuindo para perdas maiores devido a inqueimados.

- Traduzindo o atrás exposto em números, conclui-se que o valor médio de rendimento da amostra de geradores testada é 85,7%, com os valores mínimo e máximo (médias) a registarem-se, respectivamente, na caldeira a estilha (74,5%) e nas caldeiras a GPL (86,9%). Uma outra curiosidade é que o valor médio de rendimento verificado nas caldeiras a fuelóleo (85,0%) não difere muito do encontrado nas caldeiras a gás natural (86,2%), quando se esperaria, atendendo a que a maior parte dos geradores de ambos os tipos são de tubos de fumos, que a diferença de rendimentos fosse da ordem de 3% a 5%. A maioria dos geradores de vapor testados (64,4%) apresenta rendimentos que se situam na gama 85-90%, há ainda uma percentagem considerável de caldeiras (22%) com rendimentos na gama imediatamente inferior, isto é entre 80% e 85%, e apenas cerca de 7% tem rendimentos iguais ou superiores a 90%.

- Outra curiosidade é que há geradores de vapor com economizadores (ainda que não constituam a maioria) que apresentam rendimentos mais baixos do que outros geradores sem esse tipo de recuperação de calor. Mas, a maior parte que tem este dispositivo, regista rendimentos nas gamas de maiores valores, como seria de esperar. Os três maiores valores de rendimentos verificados são, respectivamente, 92,3%, 91,9% e 91,2%, tudo em caldeiras com economizadores, com a particularidade do terceiro valor pertencer à única caldeira que produz vapor sobreaquecido (e que é do tipo aquotubular) e que também dispõe de um pré-aquecedor de ar de combustão. De assinalar também os rendimentos interessantes encontrados nas caldeiras de vaporização rápida, variando entre um valor mínimo de 84,8% e um valor máximo de 87,5%, com uma média de 86,2%.

- Por último e para se ter uma ideia dos pesos dos vários tipos de perdas que contribuem para os rendimentos que foram determinados, apresenta-se na tabela seguinte as médias de valores obtidas para cada tipo de chama testada. Estes valores reflectem a totalidade da amostra analisada:

Tipo de perdas	Valores das perdas (em %, base PCI) (médias)		
	À chama mínima	À chama média	À chama máxima
Perdas associadas ao calor sensível nos gases secos de combustão (P_{gc})	7,60%	7,57%	8,80%
Perdas associadas à entalpia do vapor de água nos gases de combustão (P_{H_2O})	1,87%	1,96%	2,12%
Perdas associadas a inqueimados nos gases de combustão (P_{CO})	0,17%	0,13%	0,17%
Perdas associadas às purgas (P_p)	0,91%	0,89%	0,86%
Perdas por radiação e convecção e outras não-contabilizáveis (P_r)	2,93%	2,97%	2,85%
Total de perdas	**13,49%**	**13,52%**	**14,80%**

Vale a pena tecer aqui alguns comentários sobre a regulação e optimização da combustão numa caldeira, os quais deverão funcionar como um guia da combustão deste tipo de equipamentos para os técnicos/operadores responsáveis pelo funcionamento e manutenção dos mesmos. Como já se viu, a regulação da combustão tem como objectivo minimizar as perdas de energia nos fumos, o que implica a redução da temperatura e do excesso de ar a valores mínimos, sem aparecimento de CO e não queimados em quantidades apreciáveis. De salientar que no caso desta amostra de 63 caldeiras, uma regulação da combustão nas caldeiras em que tal se justifica, conduziria, no mínimo, a um ganho médio de rendimento para toda a amostra não inferior a 1,2%, o que se traduziria num valor médio final de rendimento da amostra de cerca de 87% (em vez dos 85,7% encontrados), ainda que em termos individuais haja caldeiras com possibilidades de ganhos de rendimento bem superiores àquele valor, da ordem de mais de 4% ou 5%.

No que se refere à regulação do excesso de ar de combustão deve atender-se a dois factores contraditórios:

- Por um lado, se o excesso de ar é pequeno, o combustível é incompletamente queimado, aparecendo nos gases de combustão elementos não queimados, tais como o carbono, o hidrogénio, e mesmo hidrocarbonetos, ou incompletamente queimados como o monóxido de carbono. Isto significa perda de rendimento, uma vez que estes elementos não tendo sido queimados no interior da câmara de combustão, não libertam a sua energia, que acaba por se perder sob a forma de calor latente nos gases de combustão. Além disso, do carbono por queimar só uma parte sai nos gases de combustão, depositando-se o resto nas paredes da câmara de combustão, formando-se uma camada isolante que dificulta a transmissão de calor entre os gases quentes e o fluido intermediário (água) a aquecer. Contudo, esta situação não é muito frequente com combustíveis gasosos, a não ser que se verifique uma condução completamente descuidada da caldeira.

- Por outro lado, um grande excesso de ar dá origem a um maior arrefecimento da câmara de combustão, perdendo-se calor no aquecimento do ar em excesso.

Logo, o ponto óptimo da regulação da combustão corresponde a uma solução de compromisso entre estes dois factores. Assim, o excesso de ar deve ser o mínimo possível sem que apareçam nos gases de combustão CO ou carbono por queimar em quantidades significativas. Daqui resulta a necessidade da análise periódica dos gases de combustão a fim de se conseguir a regulação óptima. Esta análise consiste, geralmente, na determinação dos teores em O_2 (oxigénio) e/ou CO_2 (dióxido de carbono) e CO (monóxido de carbono) e das quantidades de carbono (apenas nos caso de combustíveis sólidos ou líquidos) existentes nos gases de combustão.

Para a determinação dos teores de O_2, CO_2 e CO podem utilizar-se instrumentos de tipo muito diverso que vão desde o analisador descontínuo (ou portátil) que tanto pode medir apenas um destes gases como todos eles, até aos aparelhos automáticos de registo contínuo. Já no que concerne às partículas de carbono não queimado ou densidade dos fumos (fuligem produzida), a sua medição pode ser efectuada por um opacímetro de Bacharach, com o qual se obtém uma imagem qualitativa simples das condições de combustão: os fumos podem ser comparados visualmente com padrões, procedendo previamente à remoção de uma quantidade de gases com uma bomba, através de um papel de filtro; e, a quantidade de fuligem depositada no filtro é então comparada com uma série de padrões de tonalidades diferentes, com escala de 0 a 9, em que o 0 corresponde a limpo e o 9 a negro, sendo que numa combustão optimizada esse parâmetro deverá ter um valor inferior a 3.

Se o valor óptimo de O_2 (ou CO_2) não pode ser obtido sem excessivo teor de CO, então o equipamento de queima deverá ser examinado para se detectarem avarias, distorções ou necessidade de limpeza.

O excesso de ar relativamente elevado necessário ao bom funcionamento de um gerador (e que é mais acentuado para determinados combustíveis, como os sólidos ou líquidos) advém do facto da câmara de combustão ser de paredes frias, pelo que se torna necessário que todo o combustível seja queimado antes de os gases de combustão em contacto com as paredes frias da câmara arrefeçam até ao ponto da reacção não poder continuar. Valores de excesso de ar superiores aos recomendados contribuem para o aumento da perda de energia nos fumos. Por exemplo, para uma caldeira a fuelóleo e outra a gás natural, ambas com os gases de combustão a uma temperatura de cerca de 220 ºC, por cada 10% de redução no excesso de ar, o rendimento de cada uma delas aumenta, respectivamente, 0,6% (fuelóleo) e quase 1% (gás natural).

Consoante o tipo de combustível queimado no gerador, assim varia o ponto óptimo de funcionamento, correspondente a um determinado excesso de ar de combustão, traduzido em certos valores dos teores dos gases acima referidos nos fumos. Estes valores de excesso de ar de combustão já foram mencionados atrás para os tipos de combustíveis encontrados nas caldeiras analisadas, e fórmulas como as indicadas no Anexo 1 do modelo de Relatório utilizado nos Diagnósticos Energéticos ou gráficos como os apresentados no Anexo 3 desse documento possibilitam a sua determinação, a partir da composição dos gases de combustão (teores de O_2 ou CO_2 e CO).

Resumindo, as maiores perdas de calor de uma caldeira são sempre devidas aos gases de combustão que vão para a atmosfera, sendo as perdas determinadas pela massa de gás por kg de combustível queimado e pela sua temperatura. O caudal de gases de combustão está directamente relacionado com o caudal de ar de combustão e, na prática, é controlado através do ajuste da válvula de alimentação de ar ao queimador, até se conseguirem as leituras desejadas de CO_2 e O_2.

Embora os técnicos e os operadores das caldeiras possam ajustar o equipamento de queima de forma a obter, em qualquer instante, regimes óptimos de funcionamento, a razão ar / combustível varia constantemente devido principalmente a factores como os seguintes:

- poder calorífico do combustível;
- viscosidade do combustível (influenciada pela sua temperatura), no caso de combustíveis líquidos;
- temperatura e humidade do ar de combustão;
- alteração das quantidades de ar primário e secundário;
- condições do queimador (sujidade, folgas nas ligações, alterações dos parâmetros geométricos do próprio queimador, chama mal centrada em relação à câmara de combustão, etc.).

Como também já se viu, o conhecimento da temperatura dos gases de combustão é um elemento imprescindível para a quantificação do rendimento da combustão. A determinação daquela é feita com um indicador ou sonda de temperatura (que por exemplo, pode fazer parte de um analisador de gases portátil). Como já foi referido, o seu valor deverá ser o mais baixo possível, considerando-se normal um valor superior em cerca de 40 ou 50 ºC ao da temperatura do fluido produzido (vapor), pelo que as superfícies de permuta de calor entre os gases de combustão e a água devem encontrar-se o mais possível isentas de depósitos, sobretudo calcários e fuligem. Para atingir este objectivo, deve haver cuidados específicos com a condução e manutenção do gerador, por via de uma regulação constante da combustão para evitar a formação de fuligem que leve a depósitos e dificulte a transferência de calor, e de um adequado tratamento de águas para obviar os depósitos calcários, além das purgas necessárias para dispor de água em condições apropriadas. Por exemplo, para uma caldeira a fuelóleo e para um excesso de ar de 15%, por cada 50ºC de diminuição da temperatura dos fumos o rendimento do gerador aumenta 2,2%, e para uma caldeira a gás natural e com o mesmo excesso de ar tal diminuição da temperatura dos fumos conduz a um aumento do rendimento de 2,4%.

Como já foi salientado, o controlo da temperatura e da composição dos gases de combustão deverá ser frequente, permitindo o acompanhamento da evolução da referida temperatura verificar o estado das superfícies de permuta de calor, e em função disso ser determinado o momento de limpeza destas.

Para manter um bom nível de regulação torna-se necessário a utilização de um analisador de gases portátil, como rotina periódica (pelo menos, numa base quinzenal, ou seja, duas vezes por mês), para avaliação do estado de funcionamento das caldeiras. A necessidade de esta ser regulada

periodicamente, através do ajuste do respectivo sistema de alimentação de ar ao queimador, resulta da progressiva modificação de alguns parâmetros de funcionamento, como os que já foram referidos atrás. Outro aspecto importante a ter em conta é que o rendimento térmico de cada caldeira, resultante das análises da combustão, seja determinado a partir de cálculos por via de fórmulas existentes e não pelos valores que são dados pelos próprios analisadores portáteis, resultantes de parametrizações que normalmente não têm em atenção as especificidades (características) próprias do combustível que se está a utilizar, ou que não têm em conta todas as perdas energéticas que se verificam num gerador de calor (as diferenças de valores obtidas pelas duas vias podem ser bastante significativas).

Contudo, pelas razões já apontadas atrás, a obtenção de regimes óptimos de funcionamento das caldeiras numa base constante, no que respeita aos excessos de ar de combustão a manter, pode não ser fácil de conseguir, mesmo recorrendo a análises periódicas dos gases de combustão com analisadores de gases portáteis, seguidas das subsequentes afinações (manuais) dos sistemas de queima. Para determinadas instalações, para atingir esses objectivos, essas dificuldades poderão ser contornadas por via da implementação de um sistema automático de controlo de oxigénio (e de monóxido de carbono) nos gases de combustão.

Um tal sistema é normalmente projectado para detectar quaisquer alterações nas condições de operação, através da leitura contínua do teor de O_2 nos gases de combustão e corrigir de imediato esse desvio. O sistema consiste basicamente num sensor colocado na conduta de gases, um controlador e uma válvula motorizada, localizada na alimentação do ar de combustão. O controlador inclui um sistema que permite seleccionar manualmente o ponto de ajuste do teor de oxigénio. Este deverá corresponder a um valor de O_2 tão baixo quanto possível, mas que evite a formação de inqueimados de CO e fumos opacos. É de salientar que um tal sistema de controlo de oxigénio só resulta enquanto o equipamento de queima estiver a funcionar em boas condições, não sendo por isso solução para uma manutenção deficiente ou para peças avariadas.

A localização do sensor tem grande importância, já que o O_2 detectado deve corresponder ao que existe na câmara de combustão. Se ocorrerem entradas de ar junto ao sensor, então o sistema de controlo tenderá a reduzir o caudal de ar de combustão, resultando daí uma grande produção de fumos e/ou CO.

Normalmente, estes sistemas de controlo de O_2 já dispõem também de equipamento para controlar o teor de CO, no sentido de nunca ser ultrapassado um nível pré-determinado (tipicamente 300 ppm).

O nível de economia de energia esperado com a instalação deste tipo de equipamento depende claramente da estabilidade com que o sistema consegue manter a $\%O_2$ nas diferentes condições de funcionamento (que, quando for muito deficiente se poderá traduzir em potenciais de economia elevados) e do custo anual de combustível consumido por cada caldeira. O custo de um sistema deste tipo é sensivelmente o mesmo para qualquer capacidade de caldeiras, podendo-se considerar como

típico que o período de recuperação do investimento pode variar entre alguns meses (< 1 ano) para caldeiras de grande capacidade, até cerca de 4 anos para pequenas caldeiras.

Como observação final, é de salientar que em geradores de vapor, embora não possa ser considerado como um rendimento, é correntemente utilizado um parâmetro, denominado de *taxa de evaporação*, que permite avaliar o grau de eficiência energética da produção de vapor. Define-se como a relação entre a quantidade de vapor produzida num dado período de tempo e a quantidade de combustível consumido na produção desse vapor durante o mesmo período. Da amostra de caldeiras analisadas, poucas foram aquelas em que foi possível a determinação deste parâmetro, tendo-se obtido os seguintes valores médios: Caldeiras a gás natural (de tubos de fumo) – 15,25 kg vapor/kg combustível (ou 12,82 kg vapor/Nm^3 combustível); e, Caldeiras a fuelóleo (de tubos de água) – 14,0 kg vapor/kg combustível.

Refira-se ainda que, com base em tudo o que foi explanado atrás e que traduz o desempenho energético dos vários tipos de geradores analisados, se chegou aos seguintes valores (médios) de custos de produção do vapor para os principais tipos de caldeiras:

Caldeiras a gás natural – 27,13 EUR / t vapor

Caldeiras a fuelóleo – 23,76 EUR / t vapor

Caldeiras a GPL – 54,07 EUR/t

2.1.3. Potencial de economia de energia identificado / Medidas recomendadas

O Quadro seguinte sintetiza o potencial de economia de energia e de custos identificado nos diagnósticos efectuados, com uma listagem das várias medidas recomendadas nas diversas unidades fabris envolvidas na Acção e com referência aos geradores de vapor a que dizem respeito. Essas medidas são também classificadas por categorias, como a seguir se indica:

- 1ª classificação: segundo o montante de investimento envolvido
  - (i) "Boa Gestão Energética" (**BGE**) – medidas que envolvem investimentos pouco significativos (até um máximo de 5 000 EUR) ou que não exigem sequer qualquer investimento;
  - (ii) "Investimento Médio" (**IM**) – toda e qualquer medida que envolva investimentos compreendidos entre 5 000 e 75 000 EUR;
  - (iii) "Investimento Alto" (**IA**) – toda e qualquer medida que envolva investimentos superiores a 75000 EUR.
- 2ª classificação: de acordo com a tipologia da medida
  - (i) "Optimização de processos - Regulação da combustão / Limpeza de superfícies de transferência de calor" (**OP-Comb**);

(ii) “Optimização de processos - Melhoramento do tratamento de água” (**OP-Tág)**;

(iii) “Optimização de processos - Melhoramento do controlo e/ou manutenção dos equipamentos” (**OP-C&M**);

(iv) “Instalação de equipamento específico relacionado com o sistema de queima e/ou para controlo da combustão” (**Eq**)

(v) “Instalação ou melhoramento de isolamentos térmicos” (**IsolT**);

(vi) “Recuperação de calor” (**RC**);

(vii) “Substituição de caldeiras” (**SCald**);

(viii) “Substituição de combustível” (**SComb**);

(ix) “Outras medidas” (**OM**).

De salientar que, das medidas recomendadas, se tal se justificasse, poderiam fazer parte algumas que não tivessem necessariamente a haver com as caldeiras propriamente ditas, mas que tivessem lugar nas Centrais de Vapor onde se localizam os geradores analisados e que tivessem repercussões nos consumos energéticos daqueles equipamentos, como por exemplo:

- instalação de isolamentos térmicos em colectores de vapor, tanques de armazenagem e tubagens de distribuição de fuelóleo, tanques de condensados e de água de alimentação dos geradores de vapor, tubagens de fluidos quentes (condensados, água de alimentação, vapor, …) e respectivos acessórios (válvulas e flanges) não isolados; eliminação de fugas de vapor; substituição e/ou melhoria do funcionamento de purgadores de vapor; aquisição de instrumentação (contadores de água, de combustível e de vapor, indicadores de temperatura, …); etc.

Algumas medidas, ainda que similares às referidas atrás, mas envolvendo aspectos fora das Centrais de Vapor (como por exemplo, aumento da taxa de recuperação de condensados ou verificação de purgadores), não foram consideradas / quantificadas, em virtude de tal não se enquadrar no âmbito dos diagnósticos efectuados e/ou dos propósitos da Acção e deverem antes ser objecto de um levantamento mais detalhado por via de uma auditoria energética completa.

No **Quadro 17** apenas são consideradas medidas com viabilidade económica, isto é com períodos de recuperação dos respectivos investimentos (*“payback”* simples) que não ultrapassam os 5 anos, tendo por base o que é tipicamente admissível na Indústria em termos de investimentos na área da energia (sendo até mais usual serem aceites apenas “paybacks” até 3 anos e valores superiores, como entre 3 e 5 anos, constituírem excepções que ainda assim são toleradas para determinadas medidas). No referido Quadro, o “Payback”, que é a razão entre o valor do Investimento e a Economia anual em custos, é identificado por **PRI** (Período de Retorno do Investimento).

Outras medidas (não muitas, que não ultrapassaram a dezena e meia), sugeridas em alguns

diagnósticos e com PRI's superiores a 5 anos, por essa razão não foram contabilizadas. Ainda assim e apenas como curiosidade, apresentam-se no **Quadro 22** alguns exemplos dessas medidas com PRI's superiores a 5 anos e inferiores a 8 anos.

Algumas medidas, consideradas de boa gestão energética, embora de difícil quantificação no que respeita às economias, foram também recomendadas em alguns diagnósticos, pelo que são igualmente incluídas no Quadro 17 e com as referidas economias identificadas por **n.q.** (não quantificável).

Os **Quadros 18**, **19**, **20** e **21**, bem como a **Figura 10**, sintetizam alguns aspectos relevantes em termos de conclusões que se podem extrair da análise do Quadro 17, como sejam a desagregação do potencial de economias por tipo de caldeiras, por sector industrial envolvido e por tipos de medidas. A desagregação das economias de energia e de custos e dos investimentos associados por tipologias de medidas recomendadas, por sector industrial envolvido na Acção, é também apresentada na **Figura 11**. Todos estes dados merecem alguns comentários que são expostos mais adiante.

De salientar também que em algumas caldeiras foram detectadas situações como a não realização de testes dos órgãos de segurança e/ou de registos dos mesmos e inclusive de alguns desses órgãos serem de construção não recomendada pelas Normas vigentes, que embora não estando relacionados com os aspectos energéticos e portanto estarem fora do objecto destes diagnósticos, são de importância vital para a garantia da protecção de bens, lucros e essencialmente vidas humanas.

Por exemplo, numa caldeira foi verificada uma pressão de serviço demasiado próxima do valor do timbre, o que origina erosão prematura nas válvulas de segurança, além de contrariar as disposições da ITC para geradores de vapor e equiparados (Despacho nº 22332/2001 (2ª série)) que permite que a pressão normal de operação seja 95% da PS (pressão máxima admissível) e, que no caso da caldeira em questão, esse valor estava nos 98%. É importante que, a par das preocupações energéticas, os técnicos responsáveis nas Empresas Industriais pela operação e manutenção de geradores de vapor, não descurem os aspectos de segurança desses equipamentos, ou que tenham consciência de que determinadas práticas, como nos exemplos seguintes, concorrem para uma deficiente operação das instalações e dos equipamentos, com danos significativos nos mesmos e que podem ter consequências gravosas para a laboração das unidades fabris envolvidas.

Também a situação inversa do descrito atrás foi observada em pelo menos uma caldeira, ou seja com uma pressão de serviço muito baixa comparativamente ao timbre (cerca de 1/3 do valor deste), o que origina turbulência na superfície de separação, implicando seguramente arrastamentos de água e espuma que contaminam as redes de vapor e o próprio condensado que retorna ao desgaseificador. Numa tal situação é recomendável aumentar a sua pressão de funcionamento e usar uma válvula reguladora de pressão para o colector, válvula essa que também pode ser usada para restringir a produção de vapor ao máximo possível, evitando os arrastamentos.

De referir também que foi encontrada uma situação de dificuldade de controlo de ocorrência de condensações ácidas na chaminé de uma caldeira com economizador, que utiliza fuelóleo como combustível, o que pode provocar danos mecânicos consideráveis. Este tipo de situação só pode ser devidamente controlado, garantindo que a temperatura superficial no economizador da caldeira não desça abaixo de 137ºC (ponto de orvalho do ácido sulfúrico), pelo que pode ser obviada com um permutador água/água para pré-aquecimento; contudo, se o fluxo de água ao economizador/permutador ou o "by-pass" a este não tiverem qualquer controlo, em condições de oscilação no controlo do nível da caldeira podem ocorrer as tais condensações corrosivas.

Feito este parêntesis sobre aspectos que devem ser encarados com tanta ou mais importância do que os relacionados com a utilização da energia, passamos a comentar os resultados obtidos.

Verifica-se que:

- São possíveis economias importantes nos geradores de vapor com a implementação de vários tipos de medidas, de retorno de investimento relativamente curto. Ainda que em termos percentuais, comparativamente aos consumos actuais dos geradores em causa, as **economias** obtidas para a totalidade da amostra não pareçam muito significativas, por "serem somente" da ordem dos **3,2% em** termos de **consumos de energia** (quer esta seja encarada como energia final, quer como energia primária) e de **3,6% em** termos de **custos** (que podem nalgumas medidas não implicar apenas custos de energia evitados), se atentarmos nos valores absolutos obtidos, o potencial de economias identificado é de facto substancial para uma amostra de apenas 63 caldeiras, já que estamos a falar de aproximadamente **1 milhão de Euros** que se pode evitar anualmente em 45 empresas industriais.

  Este valor é consequência de uma poupança energética anual de **106 367 GJ de energia final,** ou de cerca de **2 549 tep** [21] **de energia primária**, se forem implementadas as medidas recomendadas, e tudo isto com um **investimento** global **de 1,3 milhões de Euros**, o que significa que o "payback" ou retorno desse investimento se faz em **1,3 anos**.
- A serem implementadas estas medidas serão evitados consumos anuais de cerca de 1 346 000 Nm^3 de gás natural, de 1 204 toneladas de fuelóleo, de 67 toneladas de GPL e de 236 toneladas de estilha. Estas economias traduzem-se numa **redução global de emissões de CO_2 de 7239 toneladas/ano** [21], e um tal potencial reflecte bem a importância da necessidade de sensibilização dos responsáveis técnicos da Indústria para os aspectos relacionados com a utilização racional de energia / eficiência energética nos Geradores de Vapor.
- Salienta-se, no entanto, que as economias acima referidas até estão estimadas por defeito, dado haver várias medidas cujas economias são difíceis de quantificar, como é o caso da aquisição de

[21] Os factores de conversão para tonelada equivalente de petróleo (tep) para os diversos combustíveis encontrados, bem como os correspondentes factores de emissão de gases com efeito de estufa referidos a toneladas de CO_2 equivalente, utilizados neste documento, são os recomendados pelo regulamento SGCIE – Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (regulado pelo Decreto-Lei nº 71/2008, de 15 de Abril), por via do Despacho nº 17313/2008 de 26 de Junho.

contadores (de energia, de vapor e de água), pelo que aquelas não foram consideradas, embora os respectivos investimentos tenham sido quantificados. É também por esta razão que no Quadro 21, onde essas medidas foram incluídas numa classificação mais abrangente quanto à sua tipologia (Optimização de processos – Melhoramento do controlo e/ou manutenção de equipamentos), a mesma aparece, aparentemente, com um "payback" (valor médio) algo elevado, de mais de 2 anos.

- Apenas em 4 unidades fabris, todas do sector de Indústrias Alimentares e envolvendo um total de 5 caldeiras, não foi identificada qualquer medida de economia de energia.

- Das medidas recomendadas nas restantes unidades fabris, 56% são de Boa Gestão Energética, 40% são de Investimento Médio e apenas 4% são de Investimento Alto. As medidas do 1º tipo têm em média um "payback" de cerca de 0,5 anos, ao passo que as do 2º e 3º tipos têm valores médios de "payback" de, respectivamente, 1,3 anos e 2 anos. De salientar que, em relação à totalidade das medidas recomendadas (em termos de número), as medidas com "payback" até 1 ano representam 56%, as medidas com "payback" compreendido entre 1 e 2 anos constituem 19% e as medidas com "payback" superior a 2 anos representam 25%.

- As medidas de Boa Gestão Energética são responsáveis por cerca de 21% das economias de energia e 19% das economias de custos, enquanto que as medidas de Investimento Médio se traduzem em 61% das economias de energia e em 62% das economias de custos e as medidas de Investimento Alto em 18% das economias de energia e em 19% das economias de custos. Em termos de montantes de investimentos envolvidos, as medidas de Boa Gestão Energética apenas captam 7% do valor global requerido para a totalidade da amostra de geradores, enquanto que as medidas de Investimento Alto e de Investimento Médio são responsáveis, respectivamente, por 30% e 63% daquele valor. Refira-se que se analisarmos os resultados por unidades fabris envolvidas, os montantes totais de investimento associados às medidas recomendadas por instalação variam entre um mínimo de 250 Euros e um máximo de 190 000 Euros.

- Não obstante os geradores de fuelóleo representarem em número apenas 27% da totalidade da amostra de caldeiras de vapor analisadas e os geradores a gás natural predominarem (constituindo 62%), os primeiros são responsáveis por um potencial de economias quase da mesma ordem do verificado nos segundos, isto é 46% em termos de energia e 45% em termos de custos nas caldeiras a fuelóleo, face aos 48% (energia) e 47% (custos) nas caldeiras de gás natural.

- As medidas recomendadas para os vários tipos de caldeiras, apresentam valores médios de "payback" dos respectivos investimentos distintos, que vão desde um valor mínimo de 0,02 anos para a caldeira a estilha, até um valor máximo de cerca de 1,4 anos nas caldeiras a gás natural, passando por cerca de 1 ano nas caldeiras a GPL e 1,3 anos nas caldeiras de fuelóleo. De salientar que das medidas identificadas e totalmente quantificadas, apenas 14 (o que representa 17%) têm um "payback" superior a 3 anos.

Quadro 17 – Potencial de economia de energia e de custos associado aos 63 geradores de vapor analisados

Unid. Fabril / Caldeiras	Medida(s) de economia de energia proposta(s)			Economia anual							Investi-mento	PRI
	Descrição	Cat.$_{Invest.}$	Cat.$_{Tipol.}$	em Consumo						em Custos		
				10^3 Nm^3_{GN}/ano	t_{Fuel}/ano	t_{GPL}/ano	$t_{estilha}$/ano	GJ/ano	tep/ano	EUR/ano	EUR	anos
Un. Fabril nº 1 / Cald. nºs 27 e 54	Reparação e melhoria do sistema automático de regulação do excesso de ar da cald. nº 27	IM	OP-Comb	51,2				1 939	46,4	16 750	10 000	0,6
	Melhoria do tratamento de água para redução do teor de TSD (p. ex., osmose inversa) e implementação de um sist. de purga automática com recuperação de vapor "flash" (e economia de água)	IM	OP-Tág	19,9				754	18,0	9 940	12 000	1,2
	Instalação de sistema de detecção de contaminação de condensados	BGE	OP-C&M	n.q.				n.q.	n.q.	n.q.	3 000	n.q.
	Melhoria da afinação do sist. modulante de alimentação de água ao economizador da cald. nº 27	BGE	OP-C&M	n.q.				n.q.	n.q.	n.q.	2 000	n.q.
	Melhoria do cruzamento de dados disponíveis de registos de consumos das caldeiras e de outros parâmetros do seu funcionamento, como auxiliar na decisão de investimentos conducentes à poupança e conservação de energia.	BGE	OM	n.q.				n.q.	n.q.	n.q.	-	-
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**71,2**				**2 692**	**64,4**	**26 690**	**27 000**	**1,0**
Un. Fabril nº 2 / Cald. nº 11	Manter a vigilância da regulação da combustão da caldeira	BGE	OP-Comb	10,2				387	9,3	3 397	1 000	0,3
	Manter a vigilância da condutividade da água da caldeira	BGE	OP-Tág	2,1				81	1,9	708	800	1,1
	Reparação do economizador da caldeira e adaptação do controlo de nível modulante, a par de uma redução da velocidade da bomba de alimentação de água para um valor fixo de 70%	IM	OP-C&M	30,7				1 162	27,8	10 191	20 000	2,0
	Implementação de um sistema de purga contínua, com recuperação de energia e de água	BGE	RC	5,5				207	5,0	2 086	5 000	2,4
	Instalação de um desgaseificador → Redução do tratamento com sulfitos	IM	OP-Tág	-				-	-	7 200	15 000	2,1
	Instalação de isolamento térmico no tanque de condensados	BGE	IsolT	10,0				378	9,1	3 432	2 000	0,6
	Instalação de contadores de combustível (GN) e de vapor	IM	OP-C&M	n.q.				n.q.	n.q.	n.q.	7 000	n.q.
	Reparação e instalação de isolamentos térmicos nas linhas de condensados (não quantificado, apenas indicados valores de referência por metro de tubagem para um exemplo de uma linha de DN50)	IM	IsolT	n.q.				0,7/m tubagem	0,017/m tubagem	6/m tubagem	8/m tubagem	1,3
	SUB-TOTAL (sem última medida, que envolve tubagem fora da Central de Vapor)	**-**	**-**	**58,5**				**2 215**	**53,0**	**27 014**	**50 800**	**1,9**
Un. Fabril nº 3 / Cald. nº 35	Efectuar análises periódicas frequentes da combustão da cald. p/ regulação (manual) da mesma	BGE	OP-Comb	46,6				1 763	42,2	16 000	1 000	0,1
	Actualização do contador de vapor (calibrado para operar a 10 bar_g, enquanto que a caldeira trabalha entre 8 e 9 bar_g, o que introduz um erro de leitura que pode chegar a ≈20%)	BGE	OP-C&M	n.q.				n.q.	n.q.	n.q.	1 000	n.q.
	Aumento da recuperação de condensados (com os consequentes ganhos em água, purgas e energia) + Melhoria da regulação do sist. de controlo modulante da água de aliment. (para um funcionamento mais estável deste e beneficiando o economizador com uma maior estabilidade do fluxo de água)	IM	RC/OP-C&M	n.q.				n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.
	Regulação contínua da combustão da caldeira por via da implementação de um sistema automático de controlo de O_2 (como alternativa à 1ª medida)	IM	Eq	93,2				3 526	84,3	32 000	6 500	0,2
	Implementação de um sistema de purga automática de desconcentração com recuperação de vapor "flash" (inclui economia de água)	BGE	RC	2,4				92	2,2	1 132	4 700	4,2
	SUB-TOTAL (com potencial máx. de economia nas medidas de regulação da combustão)	**-**	**-**	**95,6**				**3 618**	**86,5**	**33 132**	**13 200**	**0,4**
Un. Fabril nº 4 / Cald. nºs 8 e 15	Automatização das purgas de desconcentração (purga+água) com recuperação de energia (cald.15)	BGE	RC	1,1				43	1,0	1 153	4 300	3,7
	Redução das purgas de fundo na cald. nº 15	BGE	OP-Tág	2,3				86	2,0	981	-	-
	Aquisição de medidor portátil de O_2 como auxiliar de afinação de queimadores/regulação da combustão	BGE	OP-Comb	4,8				180	4,3	1 456	1 000	0,7
	Alteração do controlo modulante da cald. nº 15 + Reparação do contador de vapor	BGE	OP-C&M	n.q.				n.q.	n.q.	n.q.	2 000	n.q.
	Introdução de sistema de registo de temperaturas do economizador da cald. nº. 15	BGE	OP-C&M	n.q.				n.q.	n.q.	n.q.	1 500	n.q.
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**8,2**				**309**	**7,4**	**3 590**	**8 800**	**2,5**

Quadro 17 (continuação)

Unid. Fabril / Caldeiras	Medida(s) de economia de energia proposta(s)			Economia anual							Investi-mento	PRI
	Descrição	Cat.Invest.	Cat.Tipol.	em Consumo						em Custos		
				10^3 Nm^3_{GN}/ano	t_{Fuel}/ano	t_{GPL}/ano	$t_{estilha}$/ano	GJ/ano	tep/ano	EUR/ano	EUR	anos
Un. Fabril nº 5 / Cald. nºs 53 e 55	Regulação da combustão da cald. nº. 55, com eventual limpeza e/ou substituição dos mecanismos de atomização do combustível (fuelóleo)	BGE	OP-Comb		72			2 901	69,3	37 000	1 000	0,03
	Redução da temperatura nos tanques de fuelóleo	BGE	OM		1,4			55	1,3	704	-	-
	Implementação de um sistema de controlo automático de O_2 nos gases de combustão	IM	Eq		120			4 815	115,0	61 000	15 000	0,2
	Implementação de um sistema de contagem e registo de fluidos (água, vapor e fuelóleo) para ambas as caldeiras	IM	OM		n.q.			n.q.	n.q.	n.q.	14 000	n.q.
	Colocação de economizadores nas duas caldeiras (incluindo isolamento térmico das chaminés, para evitar a formação de ácido sulfúrico)	IA	RC		90			3 628	86,6	46 260	90 000	1,9
	SUB-TOTAL	**-**	**-**		**283**			**11 398**	**272,2**	**144 964**	**120 000**	**0,8**
Un. Fabril nº 6 / Cald. nºs 47 e 48	Procurar e eliminar contaminação de condensados	BGE	OP-Tág		4,9			200	4,8	1 179	-	-
	Melhorar o sistema de registos e seu cruzamento	BGE	OM		n.q.			n.q.	n.q.	n.q.	-	-
	Isolar termicamente o tanque de fuelóleo	BGE	IsolT		8,2			335	8,0	1 975	3 000	1,5
	Melhorar as condições de combustão, incluindo a limpeza de tubulares, em ambas as caldeiras.	BGE	OP-Comb		9,4			384	9,2	2 260	4 500	2,0
	SUB-TOTAL	**-**	**-**		**22,4**			**920**	**22,0**	**5 414**	**7 500**	**1,4**
Un. Fabril nº 7 / Cald. nº 39	Regulação periódica da combustão da caldeira, com recurso a analisador portátil.	BGE	OP-Comb	7,5				285	6,8	2 574	1 000	0,4
	Uso eficiente do sist. de controlo de TSD (dado os indícios de sonda com incrustações e a sua limpeza e recalibração frequentes serem determinantes para o seu bom funcionamento e uma redução drástica das purgas)	BGE	OP-Tág	4,4				168	4,0	1 476	-	-
	Instalação de sistema de controlo automático da combustão	IM	Eq	11,0				417	10,0	3 775	5 500	1,5
	Instalação de economizador adicional ou actualização do existente	IM	RC	22,3				844	20,2	7 600	30 000	3,9
	Instalação de isolamento térmico nos tanques de água de alimentação	BGE	IsolT	10,0				379	9,1	3 432	2 000	0,6
	Substituição de purgadores avariados	IM	OP-C&M	26,0				984	23,5	8 900	6 000	0,7
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**81,2**				**3 077**	**73,5**	**27 757**	**44 500**	**1,6**
Un. Fabril nº 8 / Cald. nºs 51 e 60	Regulação da combustão da cald. nº. 60	IM	OP-Comb		25			1 030	24,6	9 550	9 000	0,9
	Instalação de contador de vapor na cald. nº. 60	IM	OP-C&M		n.q.			n.q.	n.q.	n.q.	8 000	n.q.
	Controlo automático da combustão no termodestrutor (cald. nº. 51)	IM	Eq		88			3 612	86,3	20 857	12 000	0,6
	Instalação de pré-aquecedor de ar de combustão na cald. nº. 60	IM	RC		25			1 030	24,6	9 550	30 000	3,1
	SUB-TOTAL	**-**	**-**		**138**			**5 673**	**135,5**	**39 957**	**59 000**	**1,5**
Un. Fabril nº 9 / Cald. nºs 58 e 59	Regulação da combustão das duas caldeiras	IM	OP-Comb		102			4 110	100,0	41 200	20 000	0,5
	Automatização das purgas de desconcentração	IM	OP-C&M		60			2 422	58,8	24 278	15 000	0,6
	Aplicação de economizadores nas duas caldeiras	IA	RC		170			6 850	166,7	68 660	80 000	1,2
	Implementação de um sistema de detecção de contaminação nos condensados	BGE	OP-C&M		n.q.			n.q.	n.q.	n.q.	5000	n.q.
	SUB-TOTAL	**-**	**-**		**332**			**13 382**	**325,5**	**134 138**	**120 000**	**0,9**
Un. Fabril nº 10 / Cald. nºs 49 e 56	Manutenção periódica das caldeiras com limpeza interior e verificação da combustão, incluindo afinação dos queimadores / Regulação da combustão nas condições actuais	BGE	OP-Comb/ C&M		34			1 355	32,4	8 425	1 000	0,1
	Instalação de economizador na cald. nº. 56	IM	RC		42			1 700	40,6	10 500	40 000	3,8
	SUB-TOTAL	**-**	**-**		**76**			**3 054**	**73,0**	**18 925**	**41 000**	**2,2**

Quadro 17 (continuação)

Unid. Fabril / Caldeiras	Medida(s) de economia de energia proposta(s)			Economia anual							Investi-mento	PRI
	Descrição	Cat.$_{Invest.}$	Cat.$_{Tipol.}$	em Consumo						em Custos		
				10^3 Nm^3_{GN}/ano	t_{Fuel}/ano	t_{GPL}/ano	$t_{estilha}$/ano	GJ/ano	tep/ano	EUR/ano	EUR	anos
Un. Fabril nº 11 / Cald. nºs 61 e 62	Melhorar o registo e cruzamento de dados	BGE	OM		n.q.			n.q.	n.q.	n.q.	-	-
	Implementação de um sistema de detecção de contaminação nos condensados	BGE	OP-C&M		n.q.			n.q.	n.q.	n.q.	4 000	n.q.
	Melhorar o sistema de controlo da combustão da cald. nº. 61 (que já dispõe de analisador de O_2 nos gases de combustão, tal como a outra caldeira)	IM	OP-Comb		59			2 422	57,8	21 417	7 000	0,3
	Melhorias no economizador da cald. nº. 61, controlo do economizador/permutador e controlo da saída do vapor.	IA	OP-C&M		120			4 926	117,7	43 560	120 000	2,8
	SUB-TOTAL	**-**	**-**		**179**			**7 348**	**175,5**	**64 977**	**131 000**	**2,0**
Un. Fabril nº 12 / Cald. nº 21	Regulação da combustão da caldeira (incluindo verificação/reparação e/ou substituição de determinados componentes do queimador)	BGE	OP-Comb	4,2				158	3,8	1 692	1 000	0,6
	Aquisição de um medidor portátil de condutividade, para um maior controlo das purgas.	BGE	OP-Tág	0,3				12	0,3	126	400	3,2
	Instalação de isolamento térmico no tanque de condensados	BGE	IsolT	0,5				21	0,5	223	1 000	4,5
	Melhorar a recuperação de condensados (Nota: Regra geral, por cada 6ºC de aumento da temperatura da água de alimentação (por recuperação) economiza-se 1% de combustível)	IM	OP-C&M	41,7				1 580	37,7	16 927	n.q.	n.q.
	SUB-TOTAL (mín.) (não contabilizados os valores da última medida, por impossibilidade de cálculo do investimento, já que envolve aspectos fora da Central de Vapor; contudo, aquela deverá ser ponderada pela empresa industrial, pois o investimento pode ser de valor reduzido)	**-**	**-**	**5028**				**191**	**4,6**	**2041**	**2400**	**1,2**
Un. Fabril nº 13 / Cald. nºs 32 e 33	Regulação da combustão de ambas as caldeiras (com analisador portátil)	BGE	OP-Comb	42,2				1 599	38,2	14 367	1 000	0,1
	Instalação de sistema automático de correcção de O_2 nas duas caldeiras	IM	Eq	105,6				3 998	95,6	35 918	24 000	0,7
	Instalação de um sistema automático de purgas de desconcentração com recuperação de vapor de revaporização	IM	RC	39,4				1 492	35,7	13 400	25 000	1,9
	Sequenciamento automático das caldeiras e controlo modulante dos respectivos níveis (para obviar ocorrências de fenómenos de "maré" / ebulição espontânea por queda de pressão, que são frequentes em Centrais com várias caldeiras e que originam o disparo de alarmes de nível mínimo e paragem das caldeiras, com o consequente arrasta-mento de grandes quantidades de água e espuma, junto com o vapor, e contaminação das redes deste fluido)	IM	OP-C&M	n.q.				n.q.	n.q.	n.q.	40 000	n.q.
	Montagem de economizadores nas duas caldeiras	IA	RC	100,0				3 785	90,5	34 000	100 000	2,9
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**287,3**				**10 873**	**260,0**	**97 686**	**190 000**	**1,9**
Un. Fabril nº 14 / Cald. nºs 13 e 29	Substituição dos economizadores que se encontram fora de serviço	IM	RC	119,0				4 511	107,7	36 000	70 000	1,9
	Reparação do isolamento térmico das tubagens de vapor e de condensados	BGE	IsolT	2,7				101	2,4	900	2 500	2,8
	Reparação das fugas das linhas de água	BGE	OM	0,5				20	0,5	200	1 000	5,0
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**122,2**				**4 633**	**110,6**	**37 100**	**73 500**	**2,0**
Un. Fabril nº 15 / Cald. nºs 45 e 46	Regulação da combustão da cald. nº. 46	BGE	OP-Comb				236	3 557	85,0	12 988	240	0,02
	SUB-TOTAL	**-**	**-**				**236**	**3 557**	**85,0**	**12 988**	**240**	**0,02**
Un. Fabril nº 16 / Cald. nºs 5 e 6	Regulação da combustão de ambas as caldeiras	BGE	OP-Comb	11,6				441	10,5	4 445	1 000	0,2
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**11,6**				**441**	**10,5**	**4 445**	**1 000**	**0,2**
Un. Fabril nº 17 / Cald. nºs 50 e 57	Limpeza das superfícies de aquecimento e regulação da combustão nas duas caldeiras	BGE	OP-Comb		52			2 127	50,8	12 267	1 000	0,1
	Reparação das linhas de retorno dos condensados	IM	IsolT		22			872	20,8	5 000	14 000	2,8
	Instalação de economizadores nas duas caldeiras	IM	RC		85			3 466	82,8	20 000	70 000	3,5
	SUB-TOTAL	**-**	**-**		**159**			**6 465**	**154,4**	**37 267**	**85 000**	**2,3**

Quadro 17 (continuação)

Unid. Fabril / Caldeiras	Medida(s) de economia de energia proposta(s)			Economia anual							Investi-mento	PRI
	Descrição	$Cat._{Invest.}$	$Cat._{Tipol.}$	em Consumo						em Custos		
				10^3 Nm^3_{GN}/ano	t_{Fuel}/ano	t_{GPL}/ano	$t_{estilha}$/ano	GJ/ano	tep/ano	EUR/ano	EUR	anos
Un. Fabril nº 18 / Cald. nºs 22 e 34	Reparação de fugas existentes nas válvulas de vapor no colector	BGE	OP-C&M	16,2				614	14,7	5 000	4 000	0,8
	Eliminação das fugas de água nos empanques de uma das bombas de água de alimentação da cald. nº. 34	BGE	OP-C&M	9,5				360	8,6	2 900	3 000	1,0
	Instalação de isolamento térmico nas linhas de tubagem entre depósito de condensados, bombas e economizador da cald. nº. 34	BGE	IsolT	12,9				490	11,7	4 000	2 000	0,5
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**38,6**				**1 464**	**35,0**	**11 900**	**9 000**	**0,8**
Un. Fabril nº 19 / Cald. nº 7	Instalação de economizador na caldeira	IM	RC	20,0				758	18,1	6 000	25 000	4,2
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**20,0**				**758**	**18,1**	**6 000**	**25 000**	**4,2**
Un. Fabril nº 20 / Cald. nºs 10 e 18	Instalação de economizador em ambas as caldeiras	IM	RC	89,2				3 384	80,8	27 000	65 000	2,4
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**89,2**				**3 384**	**80,8**	**27 000**	**65 000**	**2,4**
Un. Fabril nº 22 / Cald. nºs 16 e 19	Regulação da combustão / afinação dos queimadores em ambas as caldeiras	BGE	OP-Comb	28,2				1 069	25,5	11 183	1 200	0,1
	Verificação / ajuste dos parâmetros do tanque de condensados (com eventual regulação da pressão e do nível, ou das características da bomba de alimentação, ou inclusive instalação de um tanque de maiores dimensões, para obviar as actuais descargas de condensados para o tanque de água de "make-up" e liberta-ção de vapor para a atmosfera, com as consequentes adições de água bruta ao sistema)	BGE	OP-C&M	16,7				633	15,1	6 627	750	0,1
	Instalação de economizador nas duas caldeiras	IM	RC	83,5				3 167	75,6	33 134	42 000	1,3
	Instalação de contadores de gás, de água de alimentação e de vapor nas duas caldeiras	IM	OP-C&M	10,4				396	9,5	4 142	8 000	1,9
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**138,9**				**5 265**	**125,7**	**55 086**	**51 950**	**0,9**
Un. Fabril nº 23 / Cald. nº 17	Regulação da combustão / afinação do queimador da caldeira	BGE	OP-Comb	5,6				211	5,0	2 215	650	0,3
	Instalação de isolamento térmico no tanque de condensados	BGE	IsolT	1,2				47	1,1	488	1 500	3,1
	Montagem de retorno da água de alimentação da caldeira (após economizador) ao respectivo tanque	BGE	OP-C&M	3,0				114	2,7	1 195	5 000	4,2
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**9,8**				**372**	**8,9**	**3 898**	**7 150**	**1,8**
Un. Fabril nº 24 / Cald. nºs 14 e 20	Regulação da combustão das duas caldeiras	BGE	OP-Comb	11,3				429	10,2	3 844	750	0,2
	Instalação de economizador na cald. nº. 14	IM	RC	17,0				644	15,4	5 766	20 000	3,5
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**28,3**				**1 073**	**25,6**	**9 610**	**20 750**	**2,2**
Un. Fabril nº 25 / Cald. nºs 9 e 25	Instalação de *by-pass* após economizador na cald. nº. 25 (para envio da água quente para o tanque de alimentação, quando o nível da caldeira seja atingido, aquecendo-o)	BGE	OP-C&M	22,0				834	19,9	6 830	5 000	0,7
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**22,0**				**834**	**19,9**	**6 830**	**5 000**	**0,7**
Un. Fabril nº 26 / Cald. nºs 36 e 37	Revisão ao tanque de água de reposição (para melhor controlo do nível de água nesse tanque e evitar saída de vapor pelo respiro)	BGE	OP-C&M	9,0				340	8,1	2 712	2 500	0,9
	Regulação periódica da combustão de ambas as caldeiras (com recurso a analisador portátil)	BGE	OP-Comb	22,0				833	19,9	6 648	1 000	0,2
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**30,9**				**1 173**	**28,0**	**9 360**	**3 500**	**0,4**
Un. Fabril nº 27 / Cald. nº. 12	Regulação da combustão da caldeira	BGE	OP-Comb	2,7				104	2,5	1 102	250	0,2
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**2,7**				**104**	**2,5**	**1 102**	**250**	**0,2**
Un. Fabril nº 28 / Cald. nºs 52 e 63	Instalação de purga contínua nas duas caldeiras e ligação a acumulador ou consumidor	IM	RC		14			577	13,8	5 310	7 500	1,4
	SUB-TOTAL	**-**	**-**		**14**			**577**	**13,8**	**5 310**	**7 500**	**1,4**

Quadro 17 (continuação)

Unid. Fabril / Caldeiras	Medida(s) de economia de energia proposta(s)			Economia anual							Investi-mento	PRI
	Descrição	Cat.Invest.	Cat.Tipol.	em Consumo						em Custos		
				10^3 $Nm^3{}_{GN}$/ano	t_{Fuel}/ano	t_{GPL}/ano	$t_{estilha}$/ano	GJ/ano	tep/ano	EUR/ano	EUR	anos
Un. Fabril nº 29 / Cald. nºs 28 e 38	Instalação de caldeira de baixa potência para utilização na época baixa da unidade fabril (que tem uma laboração sazonal)	IM	SCald	8,6				325	7,8	3 391	15 000	4,4
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**8,6**				**325**	**7,8**	**3 391**	**15 000**	**4,4**
Un. Fabril nº 30 / Cald. nº 26	Instalação de sonda de O_2, de controlo da combustão em tempo real, na caldeira	IM	Eq	38,6				1 462	34,9	13 802	8 000	0,6
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**38,6**				**1 462**	**34,9**	**13 802**	**8 000**	**0,6**
Un. Fabril nº 34 / Cald. nº 41	Limpeza das superfícies de aquecimento e regulação da combustão na caldeira	BGE	OP-Comb			2,8		132	3,1	2 569	500	0,2
	Instalação de economizador na caldeira	IM	RC			20,8		968	23,1	18 880	15 000	0,8
	SUB-TOTAL	**-**	**-**			**23,6**		**1 100**	**26,2**	**21 449**	**15 500**	**0,7**
Un. Fabril nº 35 / Cald. nºs 43 e 44	Limpeza das superfícies de aquecimento da cald. nº. 44 e regulação da combustão em ambas as caldeiras	BGE	OP-Comb			5,7		264	6,3	5 143	1 000	0,2
	Instalação de economizador nas duas caldeiras	IM	RC			37,9		1 768	42,2	34 492	42 000	1,2
	SUB-TOTAL	**-**	**-**			**43,6**		**2 032**	**48,5**	**39 635**	**43 000**	**1,1**
Un. Fabril nº 36 / Cald. nº 1	Ligeira regulação da combustão na caldeira	BGE	OP-Comb	0,1				4	0,1	33	-	-
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**0,1**				**4**	**0,1**	**33**	**-**	**-**
Un. Fabril nº 37 / Cald. nº 24	Ligeira regulação da combustão na caldeira	BGE	OP-Comb	4,6				171	4,1	1 560	500	0,3
	Instalação de economizador na caldeira	IM	RC	149,5				5 571	135,3	50 892	32 000	0,6
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**154,1**				**5 742**	**139,4**	**52 452**	**32 500**	**0,3**
Un. Fabril nº 38 / Cald. nº 23	Ligeira regulação da combustão na caldeira	BGE	OP-Comb	5,4				200	4,8	1 823	-	-
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**5,4**				**200**	**4,8**	**1 823**	**-**	**-**
Un. Fabril nº 39 / Cald. nºs 3 e 4	Ligeira regulação da combustão em ambas as caldeiras	BGE	OP-Comb	2,8				104	2,5	948	1 000	1,1
	Instalação de economizador na cald. nº. 3	IM	RC	14,8				553	13,4	5 048	15 000	3,0
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**17,6**				**656**	**15,9**	**5 996**	**16 000**	**2,7**
TOTAL				**1 346**	**1 204**	**67**	**236**	**106 367**	**2 549**	**992 761**	**1 300 040**	**1,3**
% de ECONOMIAS comparativamente aos consumos de energia das caldeiras analisadas (Totalidade da amostra)								**3,2%**	**3,2%**	**3,6%**		

Quadro 18 – Desagregação do potencial de economias por tipo de caldeiras

Tipo de caldeiras	Economia de Energia Final		Economia de Energia Primária		Economia de Custos		Investimento		PRI (média)
	GJ/ano	%	tep/ano	%	EUR/ano	%	EUR	%	anos
Caldeiras de Gás Natural	50 861	47,8	1 218	47,8	467 737	47,1	670 300	51,6	1,43
Caldeiras de Fuelóleo	48 818	45,9	1 172	46,0	450 952	45,4	571 000	43,9	1,27
Caldeiras de GPL	3 132	2,9	75	2,9	61 084	6,2	58 500	4,5	0,96
Caldeira de Estilha	3 557	3,3	85	3,3	12 988	1,3	240	0,0	0,02
TOTAL	**106 367**	**100,0**	**2 549**	**100,0**	**992 761**	**100,0**	**1 300 040**	**100,0**	**1,31**

Quadro 19 – Desagregação do potencial de economias por sector industrial envolvido

Sector Industrial	Economia de Energia Final		Economia de Energia Primária		Economia de Custos		Investimento		PRI (média)
	GJ/ano	%	tep/ano	%	EUR/ano	%	EUR	%	anos
Ind. Alimentares	37 985	35,7	907,2	35,6	319 160	32,1	445 890	34,3	1,40
Ind. Bebidas	20 730	19,5	501,0	19,7	199 115	20,1	242 000	18,6	1,22
Ind. Tabaco	10 873	10,2	260,0	10,2	97 686	9,8	190 000	14,6	1,95
Ind. Têxteis	18 242	17,2	438,1	17,2	183 840	18,5	200 600	15,4	1,09
Ind. Calçado	4	0,0	0,1	0,0	33	0,0	0	0,0	0,00
Ind. Papel	9 946	9,4	237,7	9,3	108 233	10,9	100 450	7,7	0,93
Ind. Químicas	3 152	3,0	75,3	3,0	34 946	3,5	56 050	4,3	1,60
Ind. Farmacêutica	3 766	3,5	90,0	3,5	36 300	3,7	47 750	3,7	1,32
Ind. Produtos Metálicos	920	0,9	22,0	0,9	5 414	0,5	7 500	0,6	1,39
Ind. Máquinas e Equipam., n.e.	441	0,4	10,5	0,4	4 445	0,4	1 000	0,1	0,22
Ind. Automóvel	309	0,3	7,4	0,3	3 590	0,4	8 800	0,7	2,45
TOTAL	**106 367**	**100,0**	**2 549**	**100,0**	**992 761**	**100,0**	**1 300 040**	**100,0**	**1,31**

Quadro 20 – Desagregação do potencial de economias por tipo de medidas de acordo com o investimento envolvido

Tipo de medidas	Economia de Energia Final		Economia de Energia Primária		Economia de Custos		Investimento		PRI (média)
	GJ/ano	%	tep/ano	%	EUR/ano	%	EUR	%	anos
Boa Gestão Energética (BGE)	22 503	21,2	538	21,1	187 398	18,9	90 540	7,0	0,48
Investimento Médio (IM)	64 677	60,8	1 550	60,8	612 883	61,7	819 500	63,0	1,34
Investimento Alto (IA)	19 188	18,0	461	18,1	192 480	19,4	390 000	30,0	2,03
TOTAL	**106 367**	**100,0**	**2 549**	**100,0**	**992 761**	**100,0**	**1 300 040**	**100,0**	**1,31**

Quadro 21 – Desagregação do potencial de economias por tipologia de medidas

Tipologia de Medidas	Economia de Energia Final		Economia de Energia Primária		Economia de Custos		Investimento		PRI (média)
	GJ/ano	%	tep/ano	%	EUR/ano	%	EUR	%	anos
Optimização de processos – Regulação da combustão / Limpeza de sup. de transf. calor	26 394	24,8	632	24,8	226 856	22,9	67 590	5,2	0,30
Optimização de processos – Melhoramento do tratamento de água (inclui optimização de purgas)	1 300	1,2	31	1,2	21 611	2,2	28 200	2,2	1,30
Optimização de processos – Melhoramento do controlo e/ou manutenção dos equipam.	12 784	12,0	306	12,0	116 335	11,7	276 750	21,3	2,38
Instalação de sistema de controlo de O_2	17 829	16,8	426	16,7	167 352	16,9	71 000	5,5	0,42
Instalação ou melhoramento de isolamentos térmicos (em tanques de fuelóleo, tanques de condensados e de água de alimentação, tubagens, etc.)	2 624	2,5	63	2,5	19 449	2,0	28 000	2,1	1,44
Recuperação de calor das purgas	2 411	2,3	58	2,3	23 081	2,3	46 500	3,6	2,01
Recuperação de calor dos gases de combustão / Instalação de economizadores e/ou pré-aquecedores de ar de combustão	42 626	40,1	1 024	40,2	413 782	41,7	766 000	58,9	1,85
Substituição de caldeiras	325	0,3	8	0,3	3 391	0,3	15 000	1,2	4,42
Outras medidas	75	0,1	2	0,1	904	0,1	1 000	0,1	1,11
TOTAL	**106 367**	**100,0**	**2 549**	**100,0**	**992 761**	**100,0**	**1 300 040**	**100,0**	**1,31**

Quadro 22 – Outras medidas sugeridas nos diagnósticos e que não foram contabilizadas (com PRI > 5 anos e < 8 anos)

Medida	Unid. Fabril nº	Economias			Investim.	PRI
		GJ/ano	tep/ano	EUR/ano	EUR	anos
Instalação de queimador mais eficiente na caldeira de GPL nº. 45	15	150	3,6	2 941	16 000	5,4
Instalação de queimador com modulação numérica e sonda de controlo automático do teor de O_2 nos gases de combustão em cada uma das caldeiras de gás natural nºs. 16 e 19	22	1 425	34,0	14 910	83 000	5,6
Instalação de economizadores nas caldeiras de fuelóleo nºs. 47 e 48	6	859	20,5	5 057	30 000	5,9
Instalação de purga contínua de superfície e automática na caldeira de gás natural nº. 17	23	62	1,5	652	4 000	6,1
Instalação de economizador numa das caldeiras de gás natural nºs. 5 e 6	16	149	3,6	1 500	10 000	6,7
Instalação de economizador na caldeira de gás natural nº. 12	27	276	6,6	2 938	21 000	7,1
Instalação de queimador com modulação numérica e sonda de controlo automático do teor de O_2 nos gases de combustão em cada uma das caldeiras de gás natural nºs. 36 e 37	26	1 359	32,5	10 847	80 000	7,4
TOTAL		**4 280**	**102,3**	**38 845**	**244 000**	**6,3**

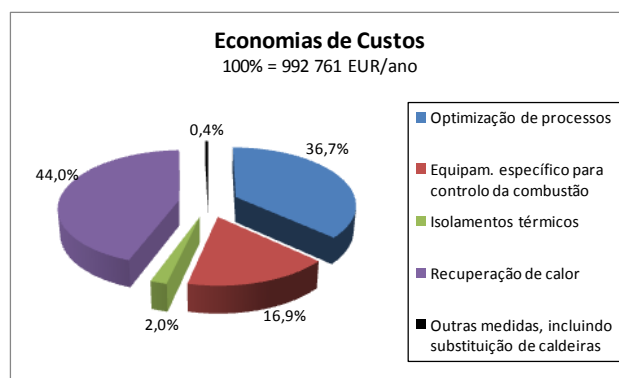
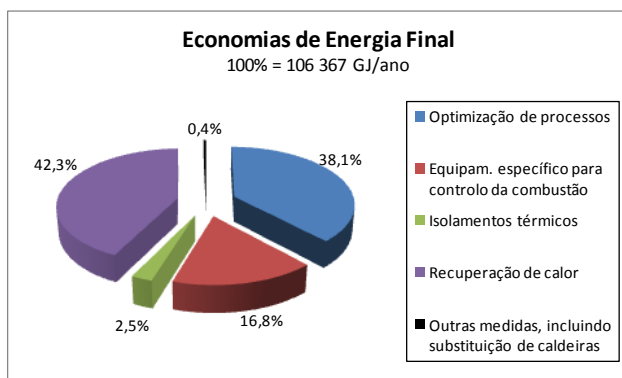
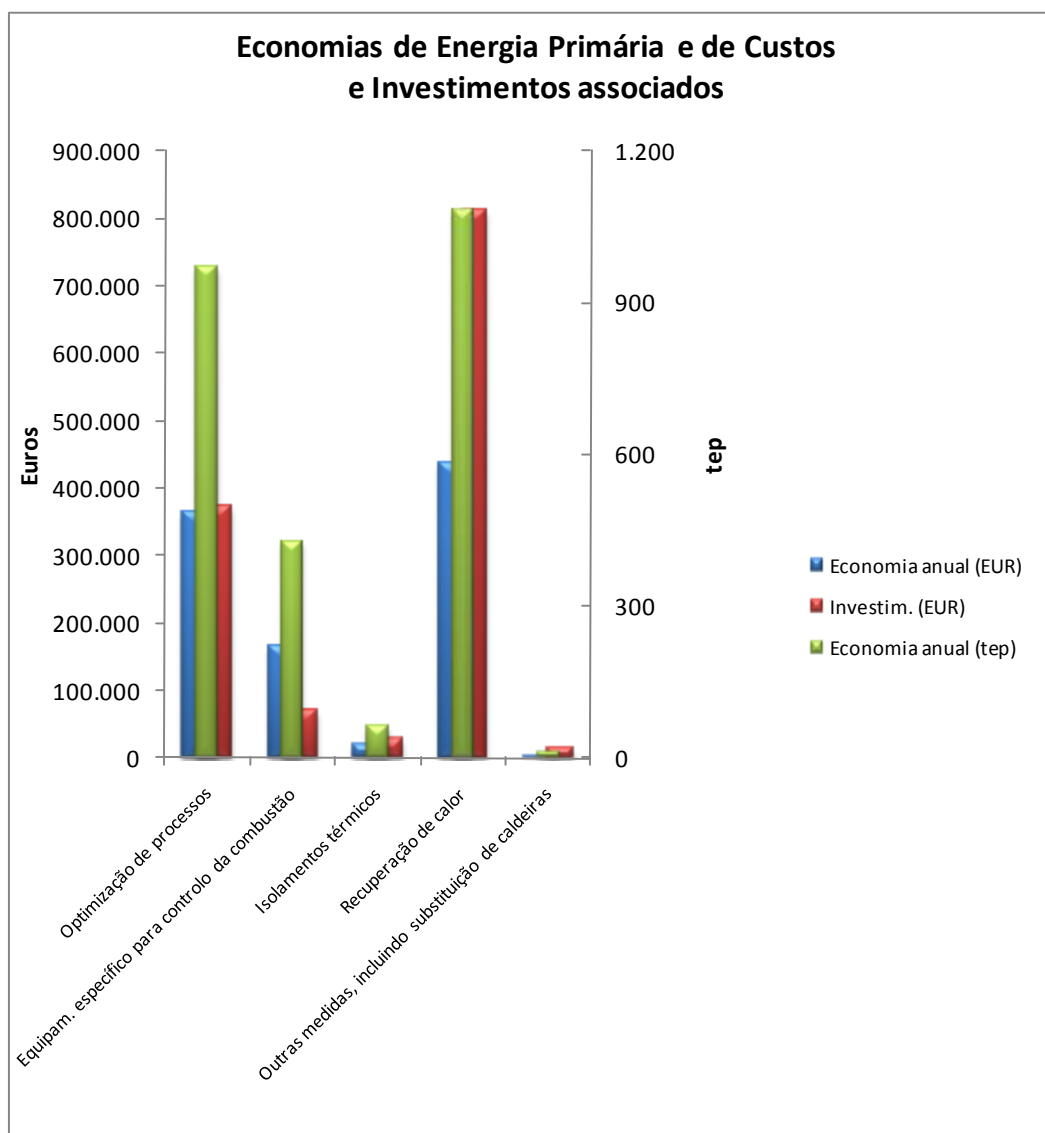
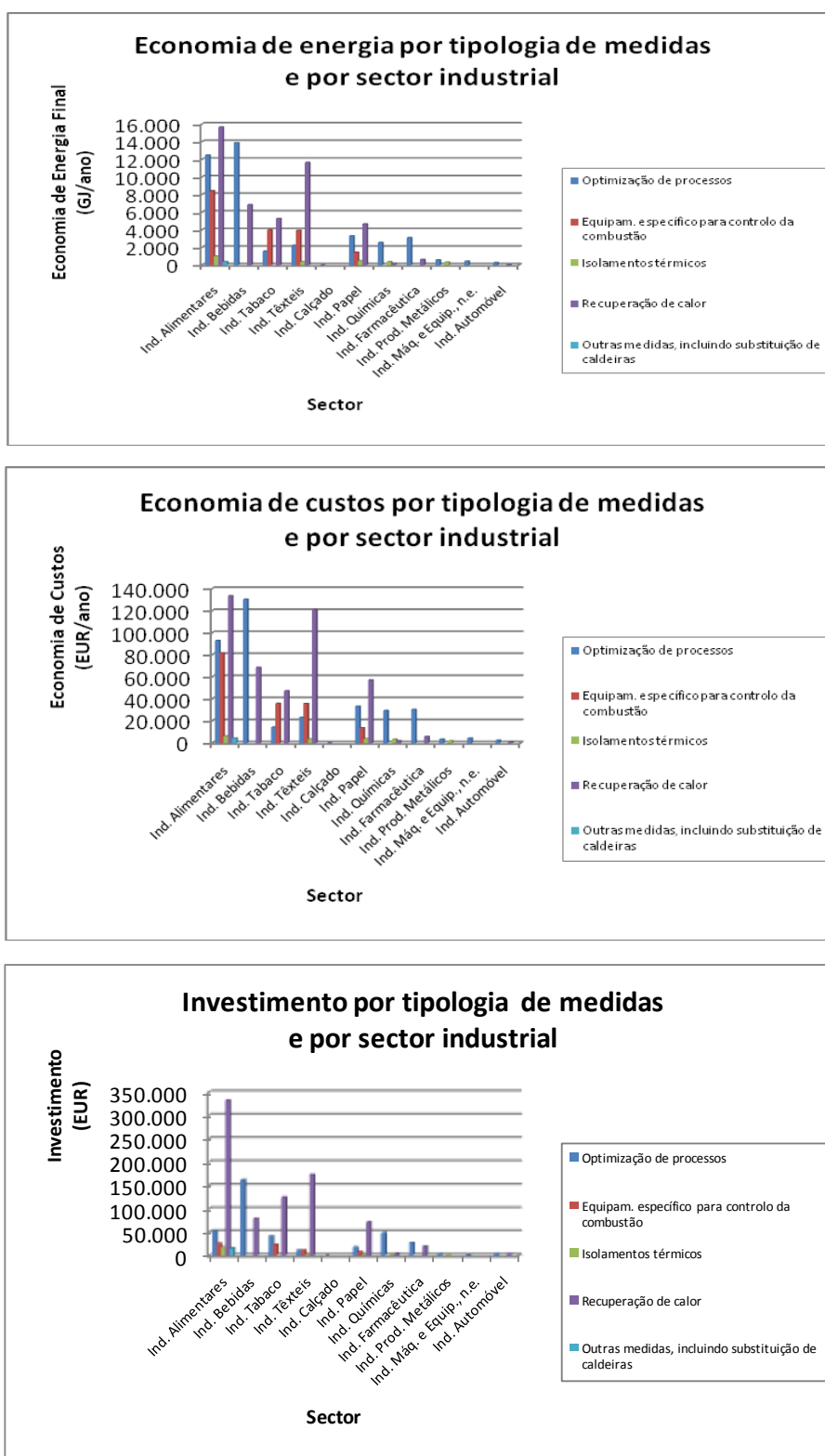



Fig. 10 – Economias de energia e de custos e investimentos associados por tipologia de medidas, para a totalidade dos geradores de vapor envolvidos na Acção.

Fig. 11 – Economias de energia e de custos e investimentos associados por tipologia de medidas, desagregados pelos vários sectores industriais envolvidos na Acção.

(Continuação dos comentários sobre os resultados obtidos)

- Fazendo a análise por sectores industriais envolvidos, verifica-se que só as unidades de Indústrias Alimentares e de Bebidas, com 46% dos geradores analisados, são responsáveis por mais de metade dos potenciais totais de economia de energia e de economia de custos identificados para a globalidade da amostra, apresentando valores de, respectivamente, 55% e 52%.

  Outros sectores com pesos relevantes nos potenciais obtidos são, respectivamente, o sector Têxtil (com 14% dos geradores analisados e 17%/18% em termos de quota parte do potencial total de economia de energia / custos), o sector da Indústria do Papel (com 13% dos geradores analisados e 9%/11% de quota parte nos potenciais referidos) e o sector da Indústria do Tabaco com algum destaque (por representar apenas 3% dos geradores analisados e apresentar 10%/10% de quota parte nos potenciais de economia de energia e de custos). Estes valores, à excepção do último, não são surpreendentes, já que reflectem uma consonância entre o número de geradores analisados e os potenciais de economias identificados, e praticamente a mesma situação se verifica com os restantes sectores envolvidos na acção.

- Os três sectores industriais cujas medidas recomendadas têm (em média) um período de retorno de investimento mais curto são, respectivamente, os do Calçado (0 anos), de Máquinas e Equipamentos (0,22 anos) e do Papel (0,93 anos), o que significa que o potencial de economia nas unidades desses sectores é conseguido basicamente com medidas de Boa Gestão Energética. Contudo, esta observação e em particular para o último dos sectores referidos pode ser fruto apenas das especificidades dos poucos geradores de vapor desses sectores que foram analisados e/ou das próprias unidades industriais envolvidas.

- Os três sectores com maiores valores (médios) de "payback" para as medidas recomendadas são, respectivamente, o da Indústria Automóvel (2,45 anos), o do Tabaco (1,95 anos) e o das Indústrias Químicas (1,60 anos), que também podem ser consequência do número de geradores analisados e das suas especificidades próprias e/ou das unidades industriais envolvidas (o que aconselha a algumas cautelas se se tentar extrapolar este tipo de conclusões, de acções como a presente, para a globalidade da Indústria Transformadora), mas que em todo o caso são bem ilustrativos da rápida recuperação dos investimentos associados a medidas que se podem implementar na área dos Geradores de Vapor.

- No que se refere ao potencial por tipologia de medida, é evidente que são dois os tipos de medidas que se destacam e que são responsáveis pela maior fatia de economias, concretamente: a **regulação da combustão** (com eventual limpeza das superfícies de transferência de calor), quer por recurso a análises periódicas dos gases de combustão (fundamentalmente, com analisadores portáteis), quer por via da instalação de sistemas automáticos de controlo do teor de oxigénio nos gases de combustão das caldeiras, que no conjunto se traduz em cerca de 42% das economias

totais de energia estimadas e em 40% das economias totais de custos; e, a **recuperação de calor dos gases de combustão** envolvendo sobretudo a instalação de economizadores, responsável por 40% das economias totais de energia e por 42% das correspondentes economias de custos.

Seguem-se-lhes por ordem de importância: as medidas de optimização de processos relacionadas com o melhoramento do controlo e/ou manutenção dos equipamentos, tais como a reparação de economizadores e a afinação do sistema de alimentação de água, a instalação de sistemas de detecção de condensados, a instalação ou reparação e calibração de contadores, a automatização de purgas, a substituição de purgadores avariados, a eliminação de fugas de vapor e de água, o sequenciamento automático das caldeiras e controlo modulante dos respectivos níveis, etc., responsáveis no conjunto por 12% do total de economias (tanto de energia, como de custos); a instalação ou melhoramento de isolamentos térmicos em tanques e tubagens de fluidos quentes, com 2,5% e 2,0% das economias; a recuperação de calor das purgas, com 2,3% das economias (energia e custos); a optimização de processos relacionada com o melhoramento do tratamento de água, com 1,2% / 2,2% das economias; e, as restantes medidas, onde se inclui a substituição de caldeiras, com pouca expressão em termos de peso nas economias totais (< 0,5%)).

De salientar que no que respeita ao controlo da qualidade da água e dos condensados, é muito subjectiva a execução de cálculos de retorno de investimento, uma vez que eles dependem essencialmente das acções e da rapidez com que estas são implementadas. Além disso, muitas das vezes os equipamentos a instalar são apenas de detecção, não contribuindo por si só para a melhoria da qualidade da água.

Também pode acontecer que determinados investimentos neste campo, essenciais para uma boa operação das caldeiras, não sejam viabilizados economicamente apenas sob o ponto de vista energético, como foi o caso de uma caldeira encontrada que apresentava valores elevados de sílica na sua água de alimentação e para a qual foi sugerida a instalação de um sistema de desmineralização, mas que face ao investimento envolvido o respectivo período de retorno do mesmo se revelou demasiado elevado (> 10 anos) e daí o facto dessa medida não ter sido incluída no Quadro 17. De qualquer modo, isto é apenas o resultado de uma situação específica encontrada e não significa que a instalação de tais sistemas tenha em média um “payback” do investimento desta ordem.

- Os três tipos de medidas com maior valor médio de “payback” do investimento (mas ainda assim, constituindo valores atractivos) são, respectivamente, a substituição de caldeiras (4,42 anos), o melhoramento do controlo e/ou manutenção dos equipamentos (2,38 anos, determinado fundamentalmente pela razão já aludida, relacionada com a instalação de contadores) e a recuperação de calor de purgas (2,01 anos).

  Pelo contrário, os três tipos de medidas com menor valor médio do período de retorno do investimento são, respectivamente, a regulação da combustão (sem sistema automático de controlo

de O_2) e limpeza das superfícies de transferência de calor (0,30 anos), a instalação de sistemas automáticos de controlo de oxigénio nos gases de combustão (0,42 anos) e a optimização de processos relacionados com o melhoramento do tratamento de água (1,30 anos). A instalação de economizadores, que não aparece em qualquer destes grupos mas que é o 2º tipo mais importante de medidas com maior impacto nas economias, tem um "payback" médio de cerca de 1,8 anos. Já a instalação de pré-aquecedor de ar de combustão, medida que apenas foi recomendada numa única unidade fabril para um determinado gerador de vapor, apresenta um período de retorno do investimento de aproximadamente 3 anos.

- Chama-se, no entanto, a atenção para algumas medidas do tipo das referidas atrás, como por exemplo a instalação de economizadores e a recuperação de calor de purgas, em determinadas instalações não se ter revelado viável economicamente (vide exemplos do Quadro 22). Como também já foi referido neste documento, a rentabilidade económica destas medidas depende de vários factores, como sejam os níveis de temperaturas envolvidos, as potências das caldeiras em questão e os respectivos regimes de funcionamento (incluindo número de horas de laboração), e daí estes resultados distintos em diferentes unidades fabris, com condições também não idênticas.

  Alguns destes factores, designadamente o último, podem também ajudar a explicar a razão porque a instalação de queimadores mais eficientes, sugerida para algumas (poucas) caldeiras, não se revelou viável sob o ponto de vista económico, sendo um tipo de medida que na prática não foi incluído no "pacote" de medidas do potencial de economias identificado.

- Salienta-se também o facto de em algumas instalações ter-se verificado que a implementação de controlo do caudal de água de alimentação das caldeiras por variador de frequência (VEV) das bombas, não é o sistema mais aconselhado, pela extrema dificuldade e por vezes impossibilidade do seu controlo, passando a trabalhar em regime "Tudo/Nada", o que pode causar a destruição de economizadores (quando estes existem) por ebulição de água no seu interior e consequentes golpes de ariete. Se, em todo o caso, se pretender usar um variador electrónico de velocidade, este deve controlar a pressão da água de alimentação, 1 ou 2 bar acima da pressão de funcionamento da caldeira, sendo o nível controlado por meio de válvula de controlo.

  Também é de assinalar que em caldeiras cujo combustível foi alterado por exemplo de "thick" fuelóleo para gás natural, é frequente haver problemas de temperaturas excessivas nos gases de combustão, sendo que por vezes se deterioram os elementos isolantes, em especial no final das fornalhas e/ou câmaras de reversão de gases. Este fenómeno é comum e deve-se sobretudo à emissividade, que é relativamente mais baixa na queima de gás natural do que noutro tipo de combustíveis. Este tipo de problemas faz com que por vezes seja necessário limitar a potência máxima dos queimadores, reduzindo a capacidade de produção das caldeiras. É por isso que em caso de necessidade de haver mais do que uma caldeira nestas condições em funcionamento permanente, uma boa solução para tornear o problema atrás referido será a automatização do

sequenciamento e a possibilidade de limitar a produção de cada uma das caldeiras, podendo conseguir-se um aumento de eficácia na sua operação.

De salientar que a única instalação onde se recomendou a substituição de uma caldeira correspondeu a uma situação específica de uma empresa com laboração sazonal, com um pico de produção de apenas 3 meses/ano, pelo que durante o resto do tempo apenas era necessário o funcionamento de uma caldeira para manter uma produção de vapor que se estimou ser da ordem de 350 kg/h. Como essa caldeira tinha uma capacidade de 15 t/h, face ao consumo de vapor muito baixo o queimador trabalhava por períodos muito curtos e permanecia desligado por longos períodos, estando associado a este regime de funcionamento perdas energéticas consideráveis (devido a cada lavagem do circuito de gases por cada ignição). Daí que se revelasse mais adequado para essa situação uma outra caldeira de menor capacidade, ainda que podendo ter um rendimento inferior, mas com menores perdas de energia.

- Não foi recomendada qualquer medida de substituição de combustível. A escolha do combustível no mercado industrial depende essencialmente do preço dos combustíveis alternativos, dos custos do equipamento necessário ou de reconversão dos equipamentos existentes para efectuar a sua queima e do critério económico usado para estabelecer a comparação entre os custos de operação e de manutenção e o investimento. Factores tais como a comodidade, segurança no abastecimento e incerteza acerca da tendência, a longo prazo, da evolução dos preços do combustível, além de imposições legislativas na área ambiental / controlo de poluição, são também importantes quando se decide instalar novos equipamentos ou reconverter equipamentos existentes.

  Alterações frequentes, quer no custo relativo dos combustíveis, quer na segurança do seu fornecimento, implicam a necessidade de os gestores industriais reverem e analisarem continuamente as oportunidades de substituição de combustíveis. Geralmente, esta substituição em caldeiras, tal como em outros equipamentos, é um problema bastante complexo, envolvendo um conjunto de aspectos económicos e técnicos, pelo que é aconselhável basear a decisão num estudo de viabilidade. O **Quadro 23** sintetiza as vantagens e desvantagens de alguns dos combustíveis encontrados na amostra analisada.

- Por último, e apenas como curiosidade, assinalam-se as variações registadas entre sectores nos valores médios de "payback" dos investimentos das diferentes tipologias de medidas recomendadas:

Tipologia de Medidas	PRI (mín) / Sector	PRI (máx.) / Sector
Optimização de processos	0 anos / Ind. Calçado	2,9 anos / Ind. Tabaco
Equipamento específico para controlo da combustão	0,3 anos / Ind. Alimentares e Têxteis	0,7 anos / Ind. Tabaco
Isolamentos térmicos	0,5 anos / Ind. Papel	2,8 anos / Ind. Alimentares
Recuperação de calor	1,2 anos / Ind. Bebidas	3,7 anos / Ind. Automóvel
Outras medidas, incluindo substituição de caldeiras	3,7 anos / Ind. Alimentares	3,7 anos / Ind. Alimentares

Quadro 23 – Factores a ter em conta na selecção do combustível para geradores de vapor

FUELÓLEO		GÁS NATURAL		GPL	
Vantagens	**Desvantagens**	**Vantagens**	**Desvantagens**	**Vantagens**	**Desvantagens**
Mais barato do que os combustíveis gasosos	Custos de Investimento associados a: Tanques Isolamento térmico de rede de distribuição Custos de Operação associados a: Aquecimento dos tanques Combustível Custos de Manutenção associados a: Limpeza das caldeiras Queimadores Custos Ambientais associados a: Emissões de fuligem Emissões de enxofre Maiores teores de NO_x nos fumos	Não necessidade de tanques de armazenagem (se o abastecimento for por gasoduto) Praticamente isento de enxofre	Custos de Operação associados ao: Combustível (especialmente em pequenas instalações) Custos de Manutenção associados a: Equipamento de segurança Custos Ambientais associados a: Elevados teores de NO_x nos fumos	Praticamente isento de enxofre	Custos de Investimento associados: Tanque de armazenagem Custos de Operação associados a: Combustível Custos de Manutenção associados a: Equipamento de segurança Custos Ambientais associados a: Elevados teores de NO_x nos fumos

2.2. AMOSTRA DE GERADORES DE TERMOFLUIDO ANALISADOS

Nos *geradores* ou *caldeiras de termofluido* temos um fluido circulando no interior dos tubos, mas normalmente sem mudança de fase, e esses tubos estão envolvidos pelos gases de combustão. A sua utilização em vez de geradores de vapor justifica-se em virtude da pressão do vapor de água aumentar rapidamente com o aumento da temperatura, enquanto que os termofluidos podem ser usados, sem se deteriorarem, na gama dos -30 a 650 ºC, a pressões moderadas quando comparadas com as da água à mesma temperatura, pelo que são recomendados sempre que há exigências processuais de temperaturas acima de 150 ºC.

O referido fluido é aquecido no gerador, circulando seguidamente em aquecedores especiais, que se encontram principalmente em equipamentos do processo, como por exemplo de acabamento de produtos no caso da indústria têxtil, tais como secadores, calandras e máquinas de fixação com calor.

Os termofluidos podem ser dividos em 3 grupos - *óleos minerais*, *compostos orgânicos sintéticos* e *sais fundidos e metais líquidos*. Em muitas aplicações, como já se referiu, os termofluidos permanecem em fase líquida, como sucede com os óleos minerais e os compostos sintéticos que podem ser aquecidos a altas temperaturas em sistemas semelhantes aos de água quente a alta pressão, mas funcionando a baixa pressão.

Estes sistemas não requerem tratamentos especiais dos fluidos, nem recuperação de condensados, e são constituídos por uma simples rede de distribuição, dando uma resposta rápida a mudanças de carga.

Outra vantagem dos geradores de termofluido é que não são considerados como recipientes de pressão e assim não são sujeitos à legislação de inspecções periódicas a que estão sujeitos, por exemplo, os geradores de vapor. Um sistema de termofluido requer conhecimento e atenção dos principais perigos, associados ao ponto de inflamação, temperatura de autoignição e toxicidade.

Em sistemas mais especializados que requeiram altas velocidades de transferência de calor a temperaturas moderadas, a transferência de calor pode ser conseguida através do calor latente da fase de vapor do fluído (p. ex., um composto orgânico sintético). Mas este tipo de geradores não fazia parte da amostra de caldeiras de termofluido analisadas no âmbito do presente estudo.

Os diagnósticos efectuados incidiram sobre 18 geradores, em que o fluido produzido é óleo térmico aquecido. A temperatura final de aquecimento encontra-se limitada pela qualidade de termofluido utilizado. Nos geradores analisados, o termofluido de origem mineral pode atingir uma temperatura máxima de 300 ºC (em 17 dos 18 geradores), havendo apenas um em que aquela temperatura é somente de 290 ºC. Estas caldeiras fazem parte de 14 empresas distintas.

Nos itens seguintes é feita a caracterização desses geradores e do equipamento auxiliar, e das suas condições de funcionamento e de utilização da energia, e é apresentado o respectivo potencial de economia de energia e de custos associado a medidas que podem ser implementadas.

2.2.1. Caracterização técnica das caldeiras e do equipamento auxiliar

- **Geradores de termofluido**

O **Quadro 24** sintetiza algumas das principais características técnicas das caldeiras de termofluido analisadas. Como já foi referido no item 1.2.1, à excepção de uma destas caldeiras que utiliza GPL (Propano) como combustível, todas as restantes consomem gás natural.

De salientar que, à excepção de três destes geradores, não foi possível a determinação da idade ou ano de fabrico destes equipamentos, pelo que essa informação não é incluída no referido Quadro. A título de curiosidade, refira-se que para aquele lote de três geradores com essa informação conhecida, um é de 1990, outro é de 1999 e o terceiro é de 2003. Também no que se refere ao valor da superfície de aquecimento não foi possível a sua determinação para a quase totalidade dos geradores, pelo que igualmente este parâmetro não é apresentado no Quadro.

As **Figuras 12 e 13** ilustram algumas das características apresentadas no Quadro referido.

Quadro 24 – Principais características técnicas da amostra de geradores de termofluido analisados.

(NOTA: As percentagens indicadas para os diversos itens referem-se ao número de caldeiras que verificam esse item comparativamente ao total de caldeiras do tipo em análise).

Tipo de Geradores	Fabricante	Pot. nom. (MW)	Condições normais de operação dos Geradores		Câmara de combustão	Número de passagens dos gases de combustão e câmara(s) de inversão (CI)			Tubos	Isolamento e protecção ext.	Estado de conservação
			$P_{termofl.}$ (bar)	$T_{termofl.}$ (ºC)	Tipo / Posição	Nº. pass.	Existência de CI	Tipo de CI	Posição / Conteúdo		
Caldeiras a Gás Natural (17)	Babcock-Wanson - 6% CSC – 71% De Figueiredo – 12% Konus-Kessel – 6% Schiller – 6%	≤ 2 MW – 24% >2 e ≤ 3 MW- 29% > 3 MW – 47% Mín. – 0,349 Máx. – 3,487 Média – 2,492	Entrada Mín. – 2,2 Máx. – 6 Média – 3,5 Saída Mín. – 0,4 Máx. – 5,2 Média – 1,7	Entrada Mín. – 103 Máx. – 275 Média – 212 Saída Mín. – 113 Máx. – 290 Média – 227	Tipo Fornalha – 6% Tubo de fogo – 12% Tubular – 82% Posição Interior – 100% Exterior – 0%	2 – 47% 3 – 24% 4 – 6% Desconh.–24%	Sim – 76% Não – 18% Desconhecido – 6%	Molhada – 12% Seca – 65% Parcialm/ seca – 0% Desconhecido – 24%	Posição Horizontais – 29% Inclinados – 0% Verticais – 6% Horizontais e verticais – 65% Conteúdo Tubos de fumo – 12% Tubos com óleo térm. – 88%	Isolamento Lã min. – 100% Lã de vidro – 0% Outro – 0% Protecção exterior Ch. alum. – 12% Ch. aço (galv.) – 12% Ch. zinco – 71% Outra – 5%	Bom – 88% Razoável – 12% Deficiente – 0%
Caldeira a GPL (1)	CSC – 100%	≤ 2 MW – 100% >2 e ≤ 3 MW - 0% > 3 MW – 0% Mín. – 0,581 Máx. – 0,581 Média – 0,581	Entrada Mín. – 2,8 Máx. – 2,8 Média – 2,8 Saída Mín. – 1,1 Máx. – 1,1 Média – 1,1	Entrada Mín. – 270 Máx. – 270 Média – 270 Saída Mín. – 285 Máx. – 285 Média – 285	Tipo Fornalha – 0% Tubo de fogo – 0% Tubular – 100% Posição Interior – 100% Exterior – 0%	2 – 100% 3 – 0% 4 – 0%	Sim – 100% Não – 0%	Molhada – 0% Seca – 100% Parcialm/ seca – 0%	Posição Horizontais – 0% Inclinados – 0% Verticais – 0% Horizontais e verticais – 100% Conteúdo Tubos de fumo – 0% Tubos com óleo térm. - 100%	Isolamento Lã min. – 100% Lã de vidro – 0% Outro – 0% Protecção exterior Ch. alum. – 0% Ch. aço – 0% Ch. zinco – 100%	Bom – 100% Razoável – 0% Deficiente – 0%

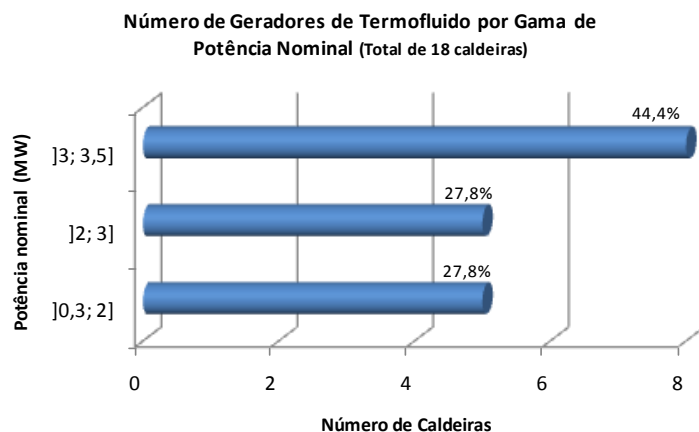



Fig. 12 – Distribuição dos Geradores de Termofluido em função da Potência Nominal.

Fig. 13 – Distribuição dos Geradores de Termofluido pelo Número de Passagens dos Gases de Combustão.

Da análise dos dados apresentados conclui-se o seguinte:

- Quanto à proveniência dos 18 geradores de termofluido da amostra, eles distribuem-se por 5 **fabricantes** diferentes, com clara predominância da CSC Portuguesa.

- No que se refere a **potências** caloríficas destes geradores, encontramos uma variação entre um valor mínimo de 349 kW (300.000 kcal/h) de uma caldeira a gás natural de uma empresa do sector da Indústria da Borracha e um valor máximo de 3,487 MW (3.000.000 kcal/h) que se verifica em 5 geradores, todos eles também a gás natural e pertencentes aos sectores da Indústria Têxtil e de Fabricação de Componentes para a Indústria Automóvel. Cerca de 44% dos geradores têm potências nominais superiores a 3 MW, e a potência média para a totalidade da amostra é de 2,386 MW (ou cerca de 2.053.000 kcal/h).

- Como já foi referido, estas caldeiras e as correspondentes instalações não são pressurizadas, as únicas **pressões** envolvidas e que são baixas (0,4 – 6 bar) devem-se à pressão de bombagem necessária à circulação do termofluido no circuito e, portanto, para vencer as perdas de carga, o que permite dispensar a existência de fogueiros.

- Não obstante estes geradores na sua quase totalidade poderem atingir **temperaturas** máximas da ordem dos 300 ºC, na prática e em condições normais de operação os valores máximos que se verificam na saída de termofluido são de 290 ºC (apenas em um gerador) e de 285 ºC (em outros três geradores). O diferencial de temperaturas entre a saída e a entrada de termofluido nos geradores não excede os 15ºC. De salientar que em 4 dos geradores analisados foram observadas temperaturas de termofluido bem abaixo dos valores mais usuais acima mencionados, isto é na gama 103-125 ºC.

- Quanto ao tipo de **câmara de combustão** que predomina nestes geradores, é o de *paredes tubulares*, que se verifica em cerca de 83% das caldeiras da amostra. Encontramos ainda dois geradores (11,1%) com câmara de *tubos de fogo* e um outro (5,6%) com *fornalha*. Em qualquer dos geradores da amostra, esta câmara situa-se no seu interior.

- Metade dos geradores da amostra é de duas **passagens dos gases de combustão** e o segundo tipo com maior expressão é o de três passagens de gases, que se verifica em 22% das caldeiras. Esta é também a percentagem de geradores em que não foi possível obter informação sobre esta característica do número de passagens de gases de combustão. De salientar que muitas das vezes esta característica depende do número de economizadores instalados, ainda que não pareça ser o caso desta amostra, dado que apenas 3 dos 9 geradores com duas passagens de gases têm economizadores instalados.

- Nos geradores que têm **câmaras de inversão** (cerca de 78% da amostra), aproximadamente 86% dessas câmaras são do tipo seco e as restantes do tipo molhado.

- A maioria (89%) dos geradores, no que respeita ao conteúdo dos **tubos**, é do tipo “tubos com óleo

térmico", apenas tendo sido detectadas duas caldeiras de tubos de fumo. E no que se refere à posição destes tubos, 2/3 da amostra apresenta tubos horizontais e verticais, enquanto que a posição exclusivamente horizontal somente aparece em 28% dos geradores.

- O **isolamento** para a totalidade das caldeiras é em lã mineral, com uma protecção externa em chapa de zinco (em 75% dos casos) ou de alumínio ou aço galvanizado. Também numa das caldeiras analisadas foi observada uma camisa de ar comburente que funciona igualmente como isolamento. O **estado de conservação** destes geradores é na sua maioria bom. Apenas em duas caldeiras (11% da amostra) foram encontradas temperaturas médias de superfície superiores a 50 ºC, concretamente 57 ºC e 62 ºC, mas que ainda assim não inspiram cuidados particulares.

- **Equipamento auxiliar**

A exemplo do verificado para os geradores de vapor, também no **Quadro 25** são resumidas as características dos principais equipamentos auxiliares dos geradores de termofluido (equipamento de queima, bombas de termofluido, ventiladores de ar de combustão, economizadores, pré-aquecedores de ar de combustão e chaminés dos geradores).

O **Quadro 26** ilustra os valores de temperaturas de fluidos (gases de combustão e ar de combustão) envolvidas nos economizadores encontrados.

Verifica-se que:

- Para uma amostra de 18 geradores encontramos três marcas diferentes de **queimadores**. Apenas foi possível a identificação do ano de fabrico de 4 destes sistemas de queima, sendo o mais antigo de 1999 e o mais recente de 2007. A média de idade do conjunto destes 4 queimadores é de cerca de 6 anos, o que corresponde sensivelmente à média de idade dos geradores a gás natural. Dado estarmos perante caldeiras que apenas utilizam combustíveis gasosos e tal como nos geradores de vapor, o tipo de queimador mais comum é o "monobloco, de ar insuflado", constituindo 83% da amostra, e o segundo tipo com maior expressão é o de "chama de difusão centrada", com um peso relativo de 11%.

- A **regulação automática** dos sistemas de queima é maioritariamente (77%) do tipo "modulante", tendo apenas sido identificadas 4 caldeiras (22% da amostra) com regulação de "dois estágios".

- As **bombas de termofluido** são todas do tipo centrífugo e tipicamente apenas encontramos uma por gerador (salvo algumas excepções em que podem ser duas ou três), com potências dos respectivos motores eléctricos que variam entre 2,2 kW e 55 kW. O valor médio de potência dos motores destas bombas é de cerca de 18 kW.

Quadro 25 – Principal equipamento auxiliar dos geradores de termofluido analisados.

(NOTA: As percentagens indicadas para os diversos itens referem-se ao número de caldeiras que verificam esse item comparativamente ao total de caldeiras do tipo em análise)

Tipo de Geradores	Equipamento de queima				Bombas	Ventiladores de ar de combustão	Economizadores e pré-aquecedores de ar de combustão	Chaminés
	Sistema	**Marca e Ano do queimador**	**Tipo de queimador**	**Modo de regulação autom.**	**Tipo / Pot. típica (kW)** (de termofluido)	**Tipo / Pot. típica (kW)**		**Características**
Caldeiras a Gás Natural (17)	Queimador – 100%	Marca Babcock-Wanson – 6% Cuenod – 23% Weishaupt – 71% Ano Desconhecido – 76% 1999-2007 – 24% (Média de idade= 6 anos)	Sem mistura prévia, de chama de difusão – 12% Monobloco, de ar insuflado – 82% Dual Gás/Fuel – inj. por pressão mecânica – 6%	"Tudo ou Nada"– 0% "Dois Estágios" – 18% "Modulante" – 82%	Tipo Centrífugo – 100% Valores típicos de potência Mín. (kW) – 2,2 Máx. (kW) – 55 Média (kW) – 20,9	Tipo Centrífugo – 100% Valores típicos de potência Mín. (kW) – 0,75 Máx. (kW) – 12,5 Média (kW) – 5,9	Economizador Existente – 18%* Não existente – 82% Pré-aquecedor de ar de comb. Existente – 24% Não existente – 76% * Vide Quadro seguinte com exemplos das condições operatórias destes economizadores.	Tipo de saída dos fumos Para cima – 70% Na horizontal – 18% Para baixo – 12% Material de construção Aço – 100% Outro – 0% Tipos de isolam. / prot. ext. Lã mineral / Ch. alum. – 18% Lã de vidro / Ch. alum. – 6% Lã mineral / Ch. zinco – 6% Lã min. / Sem protecção – 18% Sem isolam. e sem prot. – 52% Tipo de tiragem Natural – 100% Forçada – 0% Regulador de tiragem (*damper*) Automático (tudo / nada) – 0% Automático (modulante) – 0% Manual – 65% Não existente – 35%
Caldeira a GPL (1)	Queimador – 100%	Marca Weishaupt – 100% Ano Desconhecido – 100%	Monobloco, de ar insuflado – 100%	"Tudo ou Nada"– 0% "Dois Estágios"– 100% "Modulante" – 0%	Tipo Centrífugo – 100% Valores de potência 3 bombas x 4 kW	Tipo Centrífugo – 100% Valores típicos de potência Mín. (kW) – 1,5 Máx. (kW) – 1,5 Média (kW) – 1,5	Economizador Existente – 0% Não existente – 100% Pré-aquecedor de ar de comb. Existente – 0% Não existente – 100%	Tipo de saída dos fumos Para cima – 100% Na horizontal – 0% Para baixo – 0% Material de construção Aço – 100% Outro – 0% Tipos de isolam. / prot. ext. Lã mineral / Ch. alum. – 0% Lã de vidro / Ch. alum. – 0% Lã mineral / Ch. zinco – 0% Lã min. / Sem protecção – 0% Sem isolam. e sem prot. – 100% Tipo de tiragem Natural – 100% Forçada – 0% Regulador de tiragem (*damper*) Automático (tudo / nada) – 0% Automático (modulante) – 0% Manual – 0% Não existente – 100%

- Os **ventiladores de ar de combustão** são centrífugos, normalmente só existe um por gerador, com potências dos respectivos motores eléctricos que não ultrapassam os 11 kW. O valor médio de potência para toda a amostra é de cerca de 5,6 kW.

- Foram encontradas apenas 3 caldeiras com **economizador de termofluido**, o que constitui 17% da amostra. Verifica-se que o incremento que se consegue na temperatura do termofluido, à custa desta recuperação de calor dos gases de combustão, é apenas de 5 ºC no máximo. Quanto a **pré-aquecedores de ar de combustão** são 4 os geradores que incorporam este tipo de permutador, que recupera calor dos gases de combustão para pré-aquecimento (entre cerca de 100 a 160 ºC) do respectivo ar de combustão, constituindo assim 22% da amostra de geradores de termofluido. Três destes pré-aquecedores de ar encontram-se nos mesmos geradores que têm economizador e o quarto gerador com esse equipamento tem a mesma potência nominal dos outros três. Embora qualquer destes permutadores conduza a ganhos de eficiência térmica dos geradores que os têm, a sua viabilidade técnico-económica é mais difícil de obter do que nos geradores de vapor.

- Em relação às **chaminés** destes geradores, verifica-se que há grandes semelhanças com o que se observou nos geradores de vapor: 72% é do tipo com saída de fumos para cima e 18% com saída na horizontal, todas são construídas em aço e são de tiragem natural, uma parte considerável (56%) não tem qualquer tipo de isolamento térmico e de protecção exterior e os reguladores de tiragem quando existentes (apenas em 61% dos geradores) são todos do tipo manual.

Quadro 26 – Exemplos de condições operatórias encontradas nos economizadores de termofluido.

Tipo de caldeira	$T_{\text{fumos à entrada}}$ (ºC)	$T_{\text{fumos à saída}}$ (ºC)	$T_{\text{termofl. à entrada}}$ (ºC)	$T_{\text{termofl. à saída}}$ (ºC)
Cald. a GN de 3,5 MW	425	180	200	205
Cald. a GN de 3,5 MW	305	165	157	162
Cald. a GN de 3,5 MW	320	195	164	167

- **Instrumentação e equipamento de controlo**

No que se refere à principal instrumentação e controlos associados a estes geradores, tem-se que:

- 89% dos geradores incorpora indicadores de pressão de entrada e de saída do termofluido do próprio gerador, e em termos de indicadores de temperaturas do termofluido apenas 39% dos geradores os apresentam do lado da entrada e 89% também na saída.
- Os controlos nestes geradores são sobretudo em termos de pressostato de máxima (56%) e/ou pressostato diferencial (100%), de termóstato de segurança (100%) e de termóstato do queimador

(94%). De salientar que não foi encontrado qualquer contador entálpico ou de outra natureza para o termofluido.

- Apenas 2/3 da amostra dispõe de contador de combustível, com correcção de pressão.
- No que concerne ao equipamento de queima, 94% dos geradores tem indicador da pressão do combustível e somente 39% apresenta contador do número de horas de funcionamento. A regulação do excesso de ar de combustão também aqui é feita predominantemente de forma manual, registando um peso relativo de 83%.
- Nas chaminés destes geradores, apenas em 9 deles (50%) existe um indicador da temperatura dos gases de combustão. Não há nenhum com indicador(es) dos teores de O_2, CO_2 ou CO na chaminé.
- Apenas 1 economizador e 1 pré-aquecedor têm indicadores das temperaturas dos fluidos envolvidos.

Nestes geradores, tal como nos de vapor, o registo periódico de diversos parâmetros a partir da instrumentação referida, tais como caudais e pressão e temperatura do combustível, temperatura e análise dos gases de combustão, etc., é imprescindível para o conhecimento do estado geral desses geradores e para a optimização do seu funcionamento e manutenção.

2.2.2. Condições de operação e manutenção dos geradores, incluindo desempenho energético

A desagregação do número de geradores de termofluido analisados em função dos respectivos períodos de operação anual é a seguinte:

Nº de geradores com menos de 3000 horas/ano:	3 (17%)
Nº de geradores com 3000-5840 horas/ano:	10 (56%)
Nº de geradores com 5841-8760 horas/ano:	5 (28%)

Observa-se que esta desagregação é muito semelhante à verificada para os geradores de vapor. Mais de metade dos geradores de termofluido também trabalha durante mais de 3000 horas/ano e até um máximo de cerca de 5800 horas/ano. A média de horas de operação anual para a totalidade da amostra é, neste caso, superior, sendo de 5228 horas/ano por gerador de termofluido.

Os 18 geradores de termofluido analisados são responsáveis, no seu conjunto, por uma factura energética de cerca de **6 951 300 Euros/ano**, correspondente a um consumo de energia final de cerca de **745,5 TJ/ano**, equivalente a um consumo de energia primária de **18 052 tep/ano**.

O **Quadro** seguinte sintetiza os tipos de controlo de operação e de manutenção preventiva que envolvem os geradores analisados.

Quadro 27 – Tipos de controlo de operação e de manutenção preventiva dos geradores de termofluido.

OPERAÇÃO DOS GERADORES		MANUTENÇÃO DOS GERADORES	
Tipo de controlo	**% de Geradores que verifica**	**Tipo de manutenção preventiva**	**% de Geradores que verifica**
Não regular, com eventuais registos das intervenções e manutenções. Sem registos de operações de teste dos sistemas de segurança.	6%	Não existe	17%
Controlo regular, com ou sem elaboração de registos diários. Pode implicar também uma revisão periódica aos queimadores, por exemplo numa base semestral ou quadrimestral ou trimestral, com regulação da queima / afinação e manutenção dos queimadores e registo das análises de gases.	94%	Período fixo – base anual (com verificação do estado geral da(s) caldeira(s) e dos queimadores e limpeza e afinação destes)	17%
		Períodos fixos – base semestral (incluindo provas de segurança, limpeza e testes de combustão com analisador portátil)	22%
		Períodos fixos – base quadrimestral ou trimestral (com provas de segurança, limpeza e testes de combustão com analisador portátil)	33%
		FREQUENTE – base semanal, além da revisão geral anual (tipicamente com limpeza de filtros, ajuste de parâmetros e verificações nos vários equipamentos da central)	11%

Curiosamente e não obstante a operação dos geradores de termofluido não ser tão crítica quanto a dos geradores de vapor, por não serem considerados equipamentos de pressão, parece haver uma maior regularidade quer no controlo da operação dos geradores de termofluido (também por via de esta ser mais fácil do que nas caldeiras de vapor), quer na sua manutenção preventiva e em particular em testes de análise de gases para controlo da combustão. Contudo, da informação que se obteve nos diagnósticos sobre estes aspectos, não há muitos detalhes sobre as acções associadas a esse controlo da condução destes geradores.

O **Quadro 28** resume os valores médios de Poder Calorífico Inferior e de custo unitário dos dois tipos de combustível encontrados nos geradores de termofluido analisados:

Quadro 28 – PCI's e Custos Unitários dos vários combustíveis

Combustível	**Poder Calorífico Inferior (PCI)** (média)	**Custo unitário** (média)	
Gás natural	37,49 MJ/Nm^3 ou 44,61 GJ/t	0,344 EUR/Nm^3 ou 0,410 EUR/kg	9,19 EUR/GJ
GPL (Propano)	46,60 GJ/t	0,909 EUR/kg	19,51 EUR/GJ

Eficiência Térmica dos Geradores de Termofluido analisados

Também nestes geradores foram efectuadas análises de combustão, para determinação dos respectivos rendimentos. Estes, a exemplo do já verificado para os geradores de vapor, também foram calculados pelo Método das Perdas e tendo por base o PCI do combustível.

O **Quadro 29** sintetiza os resultados obtidos, que traduzem o desempenho energético destes equipamentos. Também aqui, o rendimento calculado para cada caldeira é a média ponderada dos rendimentos nas diversas chamas, com base nos tempos de funcionamento de cada uma delas. As perdas a calcular para a determinação do rendimento são em tudo semelhantes às já referidas para os geradores de vapor, com excepção das perdas pelas purgas que não existem nas caldeiras de termofluido. Portanto, para estes geradores de calor tem-se:

$$\text{Rendimento (\%)} = 100 - \sum \text{Perdas}$$

com as perdas a serem somente de quatro tipos - *perdas associadas ao calor sensível nos gases secos de combustão* (P_{gc}), *perdas associadas à entalpia do vapor de água nos gases de combustão* (P_{H_2O}), *perdas associadas a inqueimados nos gases de combustão* (P_{CO}) e *perdas por radiação e convecção e outras não-contabilizáveis* (P_r). Para o cálculo de cada uma destas perdas são utilizadas as mesmas equações já referidas a propósito das caldeiras de vapor.

Da análise destes dados, bem como da informação do **Quadro 30** e da **Figura 14** que resumem em termos estatísticos os valores de rendimentos obtidos, podemos extrair as seguintes conclusões:

- Os rendimentos das caldeiras de termofluido analisadas, ainda que em termos genéricos sejam ligeiramente melhores do que os valores verificados nos geradores de vapor, também podem considerar-se baixos, em resultado de condições deficientes no que respeita à combustão. Ainda que os excessos de ar de combustão que se registam em quase todas as caldeiras não sejam demasiado elevados, à excepção de duas caldeiras todas as restantes apresentam valores superiores ao recomendado para os tipos de combustíveis em questão (gás natural e GPL), que não deveriam ultrapassar os 15%, o que se traduz em perdas nos fumos não desprezáveis (e nalguns casos agravadas por ocorrências como as descritas no item seguinte).

- Também nalguns destes geradores continuam a verificar-se situações de temperatura elevada dos gases de combustão (isto é, mais do que 40-50 ºC acima da temperatura de saída do termofluido) em uma ou várias chamas, o que pode significar necessidade de limpeza das superfícies de transferência de calor nesses geradores, ou até mesmo situações de deficiências dos próprios queimadores.

  E, tal como também se tinha verificado nos geradores de vapor, em algumas das caldeiras de termofluido em que se fez a análise de gases de combustão, em uma ou mais chamas de funcionamento, foram medidas temperaturas dos gases, cujos valores não nos parecem correctos por serem inferiores à temperatura do termofluido. Isto pode dever-se ao facto da temperatura de termofluido registada estar errada, ou então a temperatura de gases medida não ser a correcta por ter havido entradas pontuais de ar no orifício da chaminé onde foi introduzida a sonda de amostragem de gases do analisador, ou ainda por a chama testada não estar inteiramente estabilizada aquando da análise de gases. Sendo verdade qualquer destas hipóteses, isso implica que os rendimentos nessas caldeiras sejam na realidade mais baixos que os valores calculados.

Quadro 29 – Análise da combustão e determinação da eficiência térmica dos vários geradores de termofluido analisados

(NOTAS: Rendimentos assinalados com * significam que as caldeiras em causa dispõem de economizador; e, rendimentos assinalados com ** significam que as caldeiras dispõem de pré-aquecedor de ar de combustão)

Caldeira nº	Pot. nom. (MW)	Nº passagens de gases de comb.	Temp. entrada (ºC) / Temp. saída (ºC) do termofluido	Análise dos gases de combustão															Rendimento calculado (%)
				Chama mínima					Chama média					Chama máxima					
				T (ºC)	%O_2	%CO_2	%CO	% Excesso de ar de combustão	T (ºC)	%O_2	%CO_2	%CO	% Excesso de ar de combustão	T (ºC)	%O_2	%CO_2	%CO	% Excesso de ar de combustão	
GERADORES DE TERMOFLUIDO UTILIZANDO GÁS NATURAL COMO COMBUSTÍVEL																			
1	0,35	3	220 / 230	255	5,5	9,1	0,0	**32**	-	-	-	-	**-**	275	4,5	9,3	0,0	**25**	**84,7**
2	0,35	3	235 / 250	315	4,8	9,5	0,0	**27**	-	-	-	-	**-**	240	4,5	9,3	0,0	**25**	**83,0**
3	0,58	2	255 / 265	345	5,5	9,1	0,0	**32**	-	-	-	-	**-**	270	4,5	9,5	0,0	**25**	**81,0**
4	1,7	n.d.	265 / 280	205	5,0	9,1	0,0	**28**	-	-	-	-	**-**	223	3,1	10,1	0,0	**16**	**87,6**
5	2,3	4	125 / 160	168	4,2	9,6	0,0	**23**	186	3,7	9,9	0,0	**19**	204	3,2	10,2	0,0	**16**	**91,3**
6	2,3	3	110 / 125	165	4,5	9,5	0,0	**25**	175	4,5	9,5	0,0	**25**	190	4,5	9,5	0,0	**25**	**90,0**
7	2,3	2	110 / 125	170	4,5	9,5	0,0	**25**	180	4,5	9,5	0,0	**25**	200	4,5	9,5	0,0	**25**	**89,7**
8	2,3	2	260 / 275	310	4,5	9,5	0,0	**25**	340	4,5	9,5	0,0	**25**	365	4,5	9,5	0,0	**25**	**81,9****
9	2,8	n.d.	103 / 113	136	3,1	10,1	0,0	**16**	145	3,0	10,2	0,0	**15**	160	3,0	10,3	0,0	**15**	**91,8**
10	3,0	n.d.	n.d. / 280	-	-	-	-	**-**	279	6,9	8,0	0,0	**44**	-	-	-	-	**-**	**83,0**
11	3,4	3	244 / 247	228	5,7	8,6	0,0	**34**	243	5,5	8,7	0,0	**32**	272	5,8	8,5	0,0	**35**	**84,1**
12	3,4	n.d.	106 / 120	138	3,3	10,0	0,0	**17**	148	3,2	10,1	0,0	**16**	167	3,0	10,2	0,0	**15**	**91,6**
13	3,5	2	275 / 285	365	4,5	9,5	0,0	**25**	375	4,5	9,5	0,0	**25**	385	4,5	9,5	0,0	**25**	**79,9**
14	3,5	2	275 / 285	365	4,5	9,5	0,0	**25**	375	4,5	9,5	0,0	**25**	385	4,5	9,5	0,0	**25**	**79,9**
15	3,5	2	275 / 290	105	4,5	9,5	0,0	**25**	145	4,5	9,5	0,0	**25**	180	4,5	9,5	0,0	**25**	**92,4*****
16	3,5	2	265 / 280	101	4,5	9,5	0,0	**25**	130	4,5	9,5	0,0	**25**	165	4,5	9,5	0,0	**25**	**92,9*****
17	3,5	2	265 / 280	175	4,5	9,5	0,0	**25**	210	4,5	9,5	0,0	**25**	248	4,5	9,5	0,0	**25**	**88,9*****
GERADOR DE TERMOFLUIDO UTILIZANDO G.P.L. (PROPANO) COMO COMBUSTÍVEL																			
18	0,58	2	270 / 285	260	4,5	10,5	0,0	**25**	-	-	-	-	**-**	345	4,5	10,5	0,0	**25**	**84,5**

Quadro 30 – Distribuição dos geradores de termofluido diagnosticados por gamas de rendimento

Tipo de caldeiras (por tipo de combustível)	Desagregação do número de caldeiras segundo a sua Eficiência Térmica (η)						Valor médio de η
	75%≤ η < 80%	80%≤ η < 85%	85%≤ η < 90%	90%≤ η < 95%	η ≥ 95%	Total	
Gás natural	2	6	3	6	0	17	86,7%
G.P.L.	0	1	0	0	0	1	84,5%
TOTAL	**2**	**7**	**3**	**6**	**0**	**18**	**86,6%**

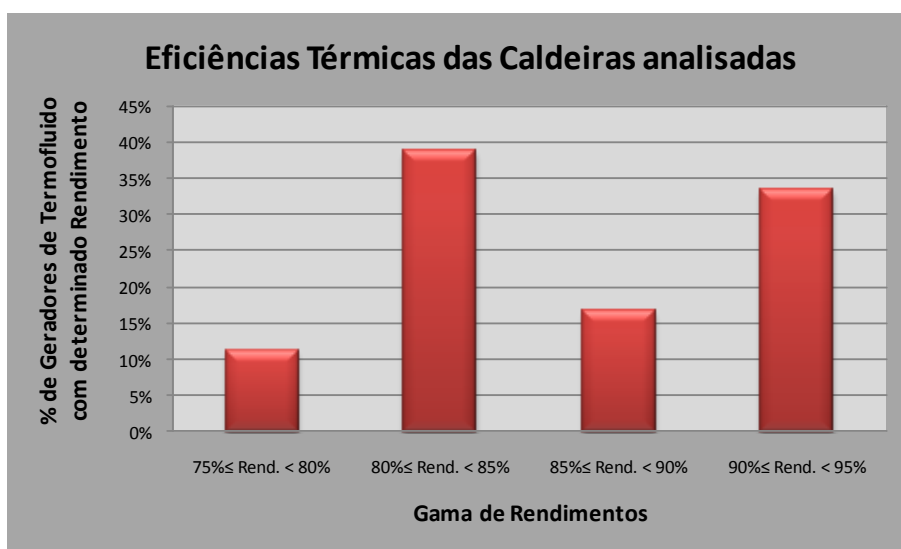



Fig. 14 – Rendimentos dos Geradores de Termofluido analisados (18 caldeiras).

É de salientar que os cuidados a ter com a regulação e optimização da combustão em caldeiras de termofluido, no sentido de ter sempre excessos de ar adequados e haver um controlo permanente das temperaturas dos fumos para que estas não atinjam valores acima dos limites admissíveis (e com base nisso serem estabelecidos os procedimentos de limpeza necessários nesses geradores), devem ser os mesmos que os já referidos a propósito dos geradores de vapor, pelo que continuam a ser válidas aqui as melhores práticas recomendadas para aquelas caldeiras.

- O valor médio de rendimento da amostra de geradores analisada é 86,6%, com as médias dos dois tipos de caldeiras testados a serem, respectivamente, 86,7% nas caldeiras a gás natural e 84,5% na única caldeira a GPL ensaiada. Metade dos geradores testados apresenta rendimentos inferiores a 85% (havendo inclusive duas caldeiras com rendimento inferior a 80%) e apenas um terço da amostra tem rendimentos iguais ou superiores a 90%, com o maior valor a ser de 92,9%.

- Duas das três caldeiras equipadas com economizador são as que apresentam maiores valores de rendimento, respectivamente 92,9% e 92,4%, aproximando-se do valor óptimo neste tipo de equipamentos. Já a terceira caldeira com esse dispositivo tem um rendimento não satisfatório (88,9%), dado que existem pelo menos cinco outros geradores que não apresentam esse dispositivo de recuperação de calor e registam valores de rendimento superiores (entre 89,7% e 91,8%). Nas quatro caldeiras que dispõem de pré-aquecedor de ar de combustão, tal como nas de vapor com esse dispositivo, não é perceptível qual é o ganho na eficiência global do sistema com o funcionamento de um tal permutador; a ideia que fica é que, pelo contrário, verificam-se perdas nestes sistemas de pré-aquecimento do ar.

- Os valores médios dos vários tipos de perdas que contribuem para os rendimentos que foram determinados, são os que se apresentam na tabela seguinte, para cada tipo de chama testada. Estes valores reflectem a totalidade da amostra analisada:

Tipo de perdas	Valores das perdas (em %, base PCI) (médias)		
	À chama mínima	**À chama média**	**À chama máxima**
Perdas associadas ao calor sensível nos gases secos de combustão (P_{gc})	8,54%	8,60%	9,58%
Perdas associadas à entalpia do vapor de água nos gases de combustão (P_{H_2O})	2,54%	2,57%	2,79%
Perdas associadas a inqueimados nos gases de combustão (P_{CO})	0,00%	0,00%	0,00%
Perdas por radiação e convecção e outras não-contabilizáveis (P_r)	1,72%	1,60%	1,70%
Total de perdas	**12,80%**	**12,77%**	**14,08%**

Por último, e com base em toda a informação recolhida e nos desempenhos energéticos (traduzidos pelos rendimentos) destes geradores de termofluido, conclui-se que os custos de produção de energia útil (de aquecimento do termofluido) nos dois tipos de caldeiras testadas, são respectivamente:

Caldeiras a gás natural – 10,63 EUR / GJ

Caldeira a GPL – 23,07 EUR / GJ

2.2.3. Potencial de economia de energia identificado / Medidas recomendadas

O **Quadro 31** resume as medidas de economia de energia e de custos recomendadas nos diagnósticos efectuados. Também aqui se adopta uma classificação das medidas por categorias, quer em termos de montantes de investimento envolvidos (similar ao usado para os Geradores de Vapor), quer por tipologia das medidas. A segunda classificação compreende as seguintes tipologias:

(i) "Optimização de processos - Regulação da combustão / Limpeza de superfícies de transferência de calor" (**OP-Comb**);

(ii) "Optimização de processos - Melhoramento do controlo e/ou manutenção dos equipamentos" (**OP-C&M**);

(iii) "Instalação de equipamento específico relacionado com o sistema de queima e/ou para controlo da combustão" (**Eq**)

(iv) "Instalação ou melhoramento de isolamentos térmicos" (**IsolT**);

(v) "Recuperação de calor" (**RC**);

(vi) "Substituição de caldeiras" (**SCald**);

(vii) "Substituição de combustível" (**SComb**);

(viii) "Outras medidas" (**OM**).

Tal como para os Geradores de Vapor, também aqui, se tal se justificasse, poderiam ser recomendadas medidas que, embora podendo não incidir directamente nas caldeiras de termofluido, desde que se verificassem nas Centrais Térmicas e tivessem repercussões nos consumos energéticos daqueles equipamentos seriam admissíveis (como por exemplo, a instalação de isolamentos térmicos em troços de tubagem de distribuição de termofluido e em válvulas e flanges não isoladas, aquisição de instrumentação (contadores de combustível, indicadores de temperatura, …); etc.).

Também só se consideraram medidas com períodos de retorno dos respectivos investimentos até 5 anos. No entanto, foram poucas as medidas identificadas, todas de mera Boa Gestão Energética e apenas do tipo (i). Os **Quadros 32** e **33** e a **Figura 15** resumem algumas das conclusões que se podem extrair da análise do Quadro 31, em termos de desagregação do potencial de economias por tipo de caldeiras e por sector industrial envolvido.

Analisando estes dados, conclui-se o seguinte:

- As **economias** identificadas nos 18 geradores de termofluido analisados resultam apenas de medidas simples de regulação da combustão (a partir de análises periódicas dos gases de combustão, com analisador portátil, e subsequente afinação dos queimadores para obtenção dos excessos de ar adequados), e em alguns casos também de limpeza das superfícies de aquecimento. Não constituindo valores muito relevantes, ainda assim ascendem a uma poupança global de energia final de **10 429 GJ/ano,** ou **253 tep/ano** se referido a energia primária, correspondendo a uma economia de custos de **97 833 Euros/ano**. Estes valores representam uma economia de **1,4%** em termos de energia (final ou primária) e de custos, comparativamente aos consumos actuais dos geradores. O **investimento** total necessário para a implementação destas medidas, de somente cerca de **8 300 Euros** e abrangendo apenas 12 empresas, será recuperado em aproximadamente **1 mês**.

Quadro 31 – Potencial de economia de energia e de custos associado aos 18 geradores de termofluido analisados

Unid. Fabril / Caldeiras	Medida(s) de economia de energia proposta(s)			Economia anual					Investi-mento	PRI
	Descrição	$Cat._{Invest.}$	$Cat._{Tipol.}$	em Consumo				em Custos		
				10^3 Nm^3_{GN}/ano	t_{GPL}/ano	GJ /ano	tep/ano	EUR/ano	EUR	anos
Un. Fabril nº 12 / Cald. nº 11	Regulação da combustão da caldeira	BGE	OP-Comb	4,2		158	3,8	1 696	-	-
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**4,2**		**158**	**3,8**	**1 696**	**-**	**-**
Un. Fabril nº 23 / Cald. nº 5	Regulação da combustão da caldeira	BGE	OP-Comb	0,4		17	0,4	174	51	0,3
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**0,4**		**17**	**0,4**	**174**	**51**	**0,3**
Un. Fabril nº 27 / Cald. nº 10	Regulação da combustão da caldeira	BGE	OP-Comb	5,5		207	4,9	2 203	250	0,1
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**5,5**		**207**	**4,9**	**2 203**	**250**	**0,1**
Un. Fabril nº 34 / Cald. nº 18	Limpeza das superfícies de aquecimento e regulação da combustão da caldeira	BGE	OP-Comb		3,9	181	4,3	3 525	500	0,1
	SUB-TOTAL	**-**	**-**		**3,9**	**181**	**4,3**	**3 525**	**500**	**0,1**
Un. Fabril nº 37 / Cald. nº 8	Limpeza das superfícies de aquecimento e regulação da combustão da caldeira	BGE	OP-Comb	21,7		808	19,6	7 389	500	0,1
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**21,7**		**808**	**19,6**	**7 389**	**500**	**0,1**
Un. Fabril nº 38 / Cald. nº 17	Regulação da combustão da caldeira	BGE	OP-Comb	5,7		212	5,2	1 941	1 000	0,5
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**5,7**		**212**	**5,2**	**1 941**	**1 000**	**0,5**
Un. Fabril nº 41 / Cald. nºs 13 e 14	Limpeza das superfícies de aquecimento e regulação da combustão nas duas caldeiras	BGE	OP-Comb	207,3		7 725	187,7	70 652	1 000	0,01
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**207,3**		**7 725**	**187,7**	**70 652**	**1 000**	**0,0**
Un. Fabril nº 42 / Cald. nºs 15 e 16	Regulação da combustão em ambas as caldeiras	BGE	OP-Comb	5,7		214	5,2	1 955	1 000	0,5
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**5,7**		**214**	**5,2**	**1 955**	**1 000**	**0,5**
Un. Fabril nº 43 / Cald. nº 3	Limpeza das superfícies de aquecimento e regulação da combustão da caldeira	BGE	OP-Comb	14,9		556	13,5	5 081	1 000	0,2
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**14,9**		**556**	**13,5**	**5 081**	**1 000**	**0,2**
Un. Fabril nº 44 / Cald. nº 1	Regulação da combustão da caldeira	BGE	OP-Comb	3,3		123	3,0	1 123	1 000	0,9
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**3,3**		**123**	**3,0**	**1 123**	**1 000**	**0,9**
Un. Fabril nº 45 / Cald. nº 2	Regulação da combustão da caldeira	BGE	OP-Comb	3,5		132	3,2	1 206	1 000	0,8
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**3,5**		**132**	**3,2**	**1 206**	**1 000**	**0,8**
Un. Fabril nº 46 / Cald. nºs 6 e 7	Limpeza das superfícies de aquecimento e regulação da combustão nas duas caldeiras	BGE	OP-Comb	2,6		97	2,3	887	1 000	1,1
	SUB-TOTAL	**-**	**-**	**2,6**		**97**	**2,3**	**887**	**1 000**	**1,1**
TOTAL				**274,9**	**3,9**	**10 429**	**253,0**	**97 833**	**8 301**	**0,1**
% de ECONOMIAS comparativamente aos consumos de energia das caldeiras analisadas (Totalidade da amostra)						**1,4%**	**1,4%**	**1,4%**		

Quadro 32 – Desagregação do potencial de economias por tipo de caldeiras

Tipo de caldeiras	Economia de Energia Final		Economia de Energia Primária		Economia de Custos		Investimento		PRI (média)
	GJ/ano	%	tep/ano	%	EUR/ano	%	EUR	%	anos
Caldeiras de Gás Natural	10 248	98,3	249	98,3	94 308	96,4	7 801	94,0	0,08
Caldeira de GPL	181	1,7	4	1,7	3 525	3,6	500	6,0	0,14
TOTAL	**10 429**	**100,0**	**253**	**100,0**	**97 833**	**100,0**	**8 301**	**100,0**	**0,08**

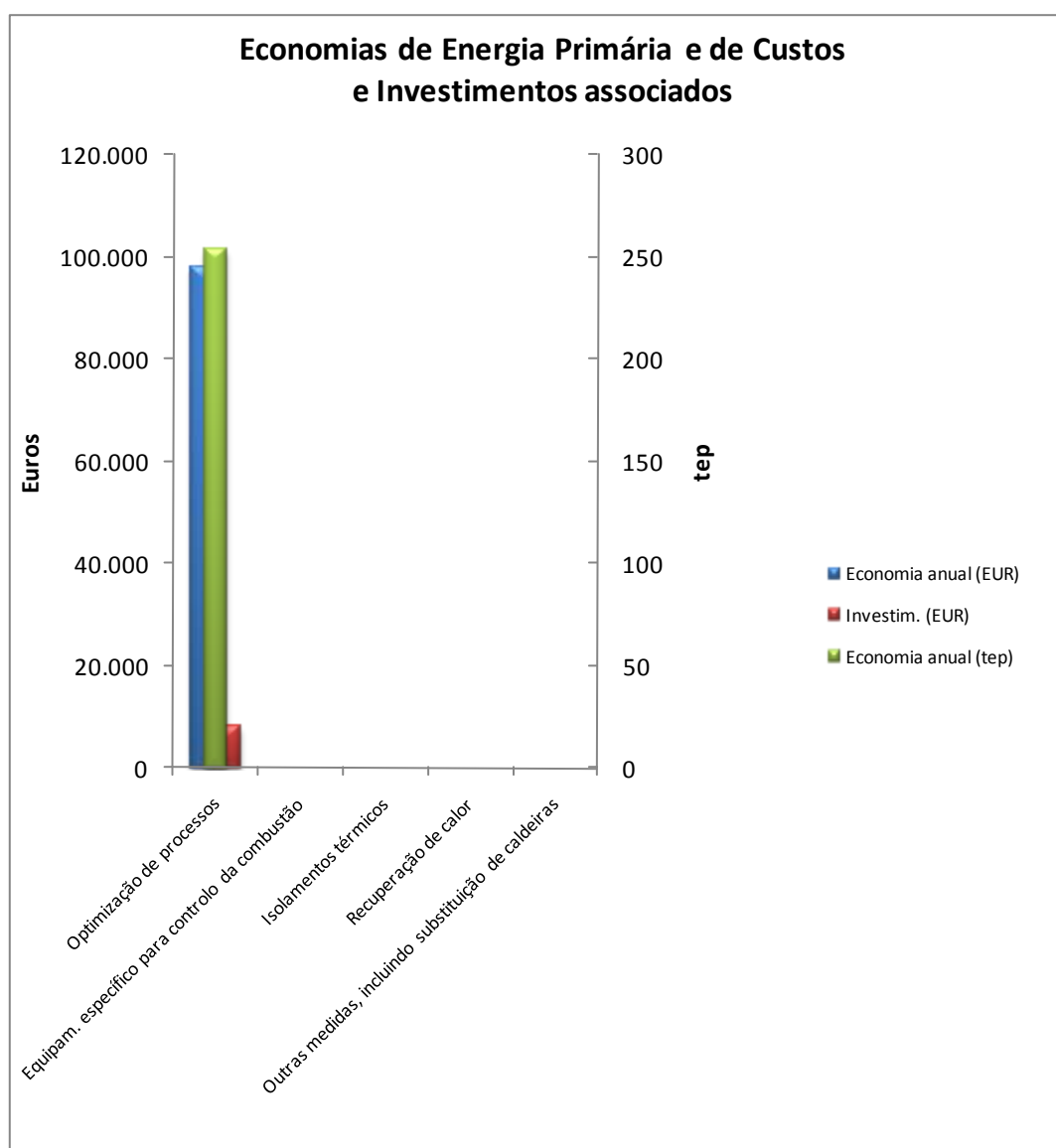



Fig. 15 – Economias de energia e de custos e investimentos associados por tipologia de medidas, para a totalidade dos geradores de termofluido envolvidos na Acção.

Quadro 33 – Desagregação do potencial de economias por sector industrial envolvido

Sector Industrial	Economia de Energia Final		Economia de Energia Primária		Economia de Custos		Investimento		PRI (média)
	GJ/ano	%	tep/ano	%	EUR/ano	%	EUR	%	anos
Ind. Alimentares	17	0,2	0,4	0,2	174	0,2	51	0,6	0,29
Ind. Têxteis	1 948	18,7	47,2	18,7	18 062	18,5	3 500	42,2	0,19
Ind. Calçado	123	1,2	3,0	1,2	1 123	1,1	1 000	12,0	0,89
Ind. Papel	181	1,7	4,3	1,7	3 525	3,6	500	6,0	0,14
Ind. Químicas	207	2,0	4,9	2,0	2 203	2,3	250	3,0	0,11
Ind. Borracha	132	1,3	3,2	1,3	1 206	1,2	1 000	12,0	0,83
Ind. Cimento (Prod. Min. não Met.)	97	0,9	2,3	0,9	887	0,9	1 000	12,0	1,13
Ind. Automóvel	7 725	74,1	187,7	74,2	70 652	72,2	1 000	12,0	0,01
TOTAL	**10 429**	**100,0**	**253,0**	**100,0**	**97 833**	**100,0**	**8 301**	**100,0**	**0,08**

(Continuação dos comentários sobre os resultados obtidos)

- A implementação das medidas identificadas evitará consumos anuais de aproximadamente 274 900 metros cúbicos normais de gás natural e 4 toneladas de GPL, correspondendo a uma **redução de emissões de CO_2 de 679 toneladas/ano**.
- Apenas em duas unidades fabris das catorze com caldeiras de termofluido objecto de diagnósticos e envolvendo apenas 3 geradores (uma do sector de Indústrias Alimentares e outra do sector de Produtos Minerais não Metálicos / Indústria Cerâmica de Louça Sanitária), não foi recomendada qualquer medida de economia de energia.
- Como já foi referido, as medidas recomendadas são todas de Boa Gestão Energética e do tipo “Optimização de processos – Regulação da Combustão / Limpeza das superfícies de transferência de calor”, com um “payback” médio de 0,08 anos (aproximadamente 1 mês). Os valores do período de retorno do investimento das várias medidas identificadas oscilam entre um mínimo de 0 anos (sem investimento) ou 0,01 anos (com investimento) até um máximo de 1,1 anos, o que é bem revelador de que medidas simples de recuperação quase imediata do investimento associado nem sempre são realizadas. Os montantes de investimento necessários para estas medidas (quando há lugar a eles) são irrisórios, na maior parte dos casos apenas o correspondente para a aquisição de um analisador de gases portátil.
- Praticamente não há diferença entre o valor médio de “payback” do investimento total das medidas recomendadas para as caldeiras de gás natural (cerca de 1 mês) e o valor homólogo registado na caldeira de GPL (1,7 meses).
- Apenas em duas unidades distintas foram ponderados outros tipos de medidas, para além das indicadas: para a caldeira nº 11, uma recuperação de calor dos gases de combustão (com uma temperatura de 270 ºC) para pré-aquecimento do ar de combustão, com recurso a uma “roda de

calor”, mas que se verificou ser pouco viável dados os pequenos consumos verificados na caldeira em questão; e, na caldeira nº 10, a eventual instalação de um queimador mais eficiente, com modulação numérica e sonda de O_2 de controlo da combustão, mas que também se verificou que conduziria a um período de retorno do investimento necessário demasiado elevado (condicionado pelo regime de laboração do gerador em questão). E por isso, em ambos os casos, tais medidas não foram consideradas. Também na última destas unidades foi colocada a hipótese de uma outra medida – a eventual instalação de economizador na caldeira de termofluido referida, com o intuito de auxiliar na produção de vapor (dado que esta instalação também tem geradores de vapor); contudo, verificou-se que tal solução, que passaria pela instalação de um acumulador de vapor com bomba de recirculação de água sobreaquecida pelo economizador instalado na saída de gases do gerador de termofluido, careceria de um estudo mais aprofundado para quantificação das economias totais, não exequível por via do diagnóstico energético da presente acção.

- Analisando por sectores industriais envolvidos, dado que as medidas são todas do mesmo tipo, é natural que os potenciais de economias identificados, de um modo geral, sejam proporcionais ao número de geradores analisados. Sendo o Sector Têxtil aquele que teve mais geradores de termofluido analisados (6), é lógico que seja um dos sectores que regista maior quinhão das economias estimadas (19%), mas não constitui o de maior potencial de economia. Esse lugar foi alcançado pelo sector da Indústria Automóvel, apenas com uma unidade fabril e dois geradores de termofluido, responsáveis por 74% das economias de energia e 72% das economias de custos da amostra. Mas face ao reduzido número de geradores analisados, não é possível extrapolar qualquer conclusão a partir destes resultados. Os restantes sectores, quase todos só com uma caldeira e apenas um com duas, têm pesos muito semelhantes (entre cerca de 1% e 2%) nas economias.

- Como seria de prever, não há grande diferenciação por sector, entre os valores médios de “payback” dos investimentos necessários para a implementação das medidas recomendadas. Os dois sectores com PRI mais curto são, respectivamente, o da Indústria Automóvel (0,01 anos) e o das Indústrias Químicas (0,11 anos), enquanto que os dois sectores com maiores valores de PRI para as medidas recomendadas são, respectivamente, o dos Produtos Minerais não Metálicos (1,13 anos) e o da Indústria do Calçado (0,89 anos). O maior valor (> 1 ano), registado numa empresa de Cimento, deve-se ao reduzido número de horas de funcionamento de qualquer dos 2 geradores de termofluido analisados.

3. CONCLUSÕES

No Quadro seguinte resume-se o potencial de economias de energia e de custos identificado no decurso dos diversos diagnósticos energéticos efectuados no âmbito da presente Acção, abrangendo um total de 81 geradores de calor, dos quais 63 geradores de vapor e 18 geradores de termofluido. Este potencial é repartido por tipologias de medidas e segundo os montantes de investimentos associados às medidas.

Quadro 34 – Resumo das potenciais economias

Tipologia de Medidas	Economia de Energia Final		Economia de Energia Primária		Economia de Custos		Investimento		PRI (média)
	GJ/ano	%	tep/ano	%	EUR/ano	%	EUR	%	anos
Optimização de processos	50 906	43,6	1 222	43,6	462 635	42,4	380 840	29,1	0,82
Equipam. espec. para controlo da combustão	17 829	15,3	426	15,2	167 352	15,3	71 000	5,4	0,42
Isolamentos térmicos	2 624	2,2	63	2,2	19 449	1,8	28 000	2,1	1,44
Recuperação de calor	45 037	38,6	1 081	38,6	436 863	40,1	812 500	62,1	1,86
Outras medidas, incluindo substituição de caldeiras	400	0,3	10	0,3	4 295	0,4	16 000	1,2	3,72
TOTAL	**116 796**	**100,0**	**2 802**	**100,0**	**1 090 594**	**100,0**	**1 308 340**	**100,0**	**1,20**

Tipo de Investimento das Medidas	Economia de Energia Final		Economia de Energia Primária		Economia de Custos		Investimento		PRI (média)
	GJ/ano	%	tep/ano	%	EUR/ano	%	EUR	%	anos
Boa Gestão Energética (Inv. ≤ 5 000 €)	32 931	28,2	791	28,2	285 231	26,2	98 840	7,6	0,35
Investimento Médio (5000 € < Inv. ≤ 75000 €)	64 677	55,4	1 550	55,3	612 883	56,2	819 500	62,6	1,34
Investimento Alto (Inv. > 75 000 €)	19 188	16,4	461	16,5	192 480	17,6	390 000	29,8	2,03
TOTAL	**116 796**	**100,0**	**2 802**	**100,0**	**1 090 594**	**100,0**	**1 308 340**	**100,0**	**1,20**

Estes resultados demonstram o seguinte:

- É possível a implementação de medidas conducentes a ganhos de eficiência energética na área dos Geradores de Calor, em particular em caldeiras de vapor e em caldeiras de termofluido, que se traduzem em substanciais economias de custos, sem investimentos avultados e com períodos de retorno dos mesmos bastante curtos.

- Na amostra de 81 caldeiras analisadas na Acção, distribuídas por 46 unidades fabris / 45 empresas industriais distintas, a implementação de todas as medidas propostas traduzir-se-á numa redução da factura energética global associada a esses geradores de calor de quase 1,1 milhões de Euros por ano, correspondendo a 3,1% dos custos energéticos (anuais) totais desses equipamentos verificados à data da realização dos diagnósticos. O montante global de investimento necessário para a implementação dessas medidas, de cerca de 1,3 milhões de Euros, será recuperado em 1,2 anos.

- O potencial de economia total associado a estas medidas, de cerca de 116,8 TJ/ano de energia final ou 2 802 tep/ano de energia primária, corresponde a aproximadamente 3% dos consumos anuais destas caldeiras, o que se traduz num potencial de redução de emissões de gases com efeito de estufa equivalente a 7 919 toneladas anuais de CO_2, valor este que é deveras significativo se se atender ao número reduzido de empresas envolvidas.

- Uma análise por tipologias de medidas propostas evidencia que: aproximadamente 59% das economias de energia, equivalentes a cerca de 58% das economias de custos, são possíveis com a implementação de medidas cujos investimentos associados se recuperam (em média) em menos de 1 ano; cerca de 41% das economias de energia e 42% das economias de custos se obtêm com medidas cujo "payback" do investimento é maior do que 1 ano e menor que 2 anos; e, apenas 0,3% das economias de energia e 0,4% das economias de custos estão associadas a medidas com períodos de retorno do investimento superiores a 3 anos.

  E, das tipologias referenciadas, destacam-se a Optimização de Processos (com particular realce para a regulação da combustão / limpeza das superfícies de transferência de calor) e a Recuperação de Calor (com saliência especial para a que se relaciona com o aproveitamento da energia dos gases de combustão, envolvendo a instalação de economizadores), por si só responsáveis por cerca de 82% das economias de energia e 91% das economias de custos identificadas.

  Seguem-se-lhes por ordem de importância o Melhoramento do Controlo e/ou Manutenção dos Equipamentos, bem como dos Tratamentos de Água em Geradores de Vapor, incluindo optimização das Purgas e recuperação de calor nestas. De salientar que o tratamento de água em geradores de vapor é uma área claramente a merecer uma atenção especial, dada a percentagem elevada de instalações encontradas com esta vertente em condições não satisfatórias e a repercutir-se em vários problemas técnicos e em consumos energéticos desnecessários (muitas vezes de difícil quantificação) nos geradores em que tal se verifica.

- Em termos de montantes de investimentos envolvidos, são as medidas de Investimédio Médio (entre 5 000 e 75 000 Euros), com um "payback" médio de cerca de 1,3 anos, que têm maior impacto, sendo responsáveis por aproximadamente 55% das economias de energia e 63% das economias de custos dos potenciais totais identificados. As medidas de Boa Gestão Energética (que não requerem qualquer investimento, ou implicam investimentos pouco significativos, até 5000 Euros no máximo), onde se enquadram grande parte das medidas propostas, são responsáveis por 28% das economias de energia e 26% das economias de custos dos potenciais identificados e têm um valor médio de período de retorno do investimento de cerca de 0,4 anos. Os maiores investimentos estão associados a medidas que se repercutem em 16% / 18% de economias de energia e de custos dos potenciais totais estimados, sendo o valor médio de "payback" da ordem dos 2 anos.

- Nos geradores de termofluido analisados, que em número representavam 22% da amostra total de

Geradores de Calor da acção, as economias de energia e de custos associadas às medidas recomendadas para esses equipamentos traduzem-se numa expressão bem menor que a proporção directa em relação ao número, constituindo somente cerca de 9% dos potenciais totais identificados para a globalidade da amostra. Estes potenciais de economias registados para as caldeiras de termofluido, bem menores do que os verificados para as caldeiras de vapor, também estão associados a medidas menos "sofisticadas" do que as identificadas para os geradores de vapor, o que pode ser consequência de um mais fácil controlo da operação do primeiro tipo de caldeiras.

- Em síntese, é justificado e necessário o crescente interesse pelas questões energéticas. O interesse deve ser geral e não apenas dos Poderes Públicos. As empresas industriais devem envidar todos os seus esforços para conseguirem reduzir a elasticidade do consumo de energia em relação à produção, isto é, procurar reduzir os consumos específicos de energia, sem prejuízo da produção, e a área dos Geradores de Calor poderá dar um contributo significativo para esse esforço, facto que concorrerá certamente para o aumento da competitividade dessas empresas. A economia de combustíveis e de energia eléctrica, por via de uma utilização mais racional dessas formas de energia ou maior eficiência energética, é, neste momento, o meio mais eficaz e de resultados que podem ser obtidos em menor prazo, com vista a diminuir a dependência energética do País em relação ao exterior e a contribuir para o tão desejado aumento da competitividade das empresas, para fazerem face às "ameaças" da concorrência. Acresce a tudo isto as vantagens que implica em termos de evitar a deterioração do meio ambiente.

Por último, é de salientar os condicionalismos em que foi desenvolvida a presente acção, a partir de uma amostragem de empresas e de geradores de calor relativamente reduzida, mas que ainda assim foi suficiente para os propósitos pretendidos. Os resultados obtidos ilustram bem o quão fácil é de economizar energia e custos em caldeiras de vapor e em caldeiras de termofluido, a partir de medidas de fácil implementação e com reduzidos investimentos (de um modo geral), que se recuperam em períodos muito curtos, dentro dos parâmetros típicos admissíveis pela Indústria, deitando por terra alegadas "dificuldades" de viabilidade técnico-económica muitas vezes invocadas pelas empresas para não se fazer nada nesta área dos Geradores de Calor. Muitas das vezes tais economias passam apenas por um controlo mais apertado e permanente destes equipamentos. É também importante que determinados "mitos" ou até desconhecimento total sobre estas matérias, no que concerne a medidas recomendadas e períodos de retorno dos investimentos que lhes estão associados, sejam contrariados com campanhas de informação, como os resultados da presente acção, para que se estimule alterações de práticas e com isso se recolham benefícios para a economia e para o ambiente.

Miraflores, Maio de 2010

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] AMBITERMO, BABCOCK-WANSON, CSC, SPIRAX SARCO; Relatórios de Diagnósticos Energéticos; 2009.

[2] Spirax Sarco.; “The Steam and Condensate Loop – An engineer’s best practice guide for saving energy ”; Spirax-Sarco Limited (UK), 2007.

[3] Mendes Juanico, Filipe J.; “Geradores de Calor”; ECEMEI, 1992.

[4] Energy Efficiency Office / Department of the Environment; “Good Practice Guide no. 30 – Energy Efficient Operation of Industrial Boiler Plant”; ETSU & Linden Consultants (UK), 1992.

[5] NIFES, Consórcio Tecninvest / Profabril / Protermia / Staff, Sequeira, J. ; Diversos “Manuais de Conservação de Energia de Subsectores Industriais”; Ministério da Indústria e Energia / Direcção Geral de Energia, 1985.

[6] NIFES; “Curso de Conservação de Energia na Indústria – Métodos Gerais” para Consórcio participante em “Energy Survey” na Indústria Portuguesa; Ministério da Indústria e Energia / DGE, Lisboa – 1985.

[7] Energy Efficiency Office; “Fuel Efficiency Booklet no. 14 – Economic use of oil-fired boiler plant”; EEO & Central Office of Information (UK), 1984.

[8] Energy Efficiency Office; “Fuel Efficiency Booklet no. 15 – Economic use of gas-fired boiler plant”; EEO & Central Office of Information (UK), 1984.

[9] Gomes, Machado / Mendes, Óscar, C.; “Noções Técnicas para a Condução de Geradores de Vapor”; DGE – Direcção Geral de Energia / Departamento de Conservação de Energia, 1983.

[10] “Notas de Instalações e Serviços Industriais”; Ed. Secção de Folhas da A.E.I.S.T., 1983.

[11] National Industrial Fuel Efficiency Service Ltd.; “Boiler Operators Handbook”; Graham & Trotman (UK), 1981.

ANEXO 1 – CONTACTOS DOS PARCEIROS

Contactos de Parceiros participantes na Acção de Promoção de Eficiência Energética em Geradores de Calor

Fornecedor	Endereço	Contacto(s)	Telefone	Telefax	E-mail(s)
AMBITERMO – Engenharia e Equipamentos Térmicos, S.A.	Zona Industrial de Cantanhede, Lote 37 – 3060-197 Cantanhede	Engº Nuno Janicas	231 410 210	231 410 211	project@ambitermo.com
BABCOCK-WANSON Caldeiras, Lda.	Rua dos Transitários 182, Salas BS e BT – 4455-565 Perafita	Engº Paulo Morgado e Engº Rui Martins	22 999 94 90	22 999 96 59	pmorgado@babcock-wanson.com rmartins@babcock-wanson.com
CSC Portuguesa – Caldeiras Especiais para Termofluido, Lda.	Rua António Patrício, 209 – 4150-100 Porto	Engº Paulo Barbosa	22 600 53 24	22 600 53 27	com@csc-caldeiras.com
SPIRAX SARCO – Equipamentos Industriais, Lda.	Rua Quinta do Pinheiro 8-8A - 2794-058 Carnaxide	Engº. Fernando Mouta	21 417 50 93	21 417 51 00	FernandoMouta@pt.spiraxsarco.com

ANEXO 2 – MODELO DE RELATÓRIO DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO